AGROCAMPUS OUEST
CFR Angers
2, rue André Le Nôtre
49045 ANGERS Cedex 01
Tel : 02 41 22 54 54

Parc Naturel Régional de la Martinique
Avenue des canéficiers, Fort-de-France 97200, Martinique
Tel : 05 96 64 42 59

Fredon Martinique
Chemin rural de Croix Rivail, Le Lamentin 97232, Martinique
Tel : 05 96 73 58 88

Mémoire de fin d'études

Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires Horticoles et du Paysage

Année universitaire : 2018 - 2019

Spécialité et Spécialisation : Horticulture - Protection des Plantes et Environnement en Horticulture

Étude de la régulation de la mineuse du café *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842) sur des parcelles de café martiniquaises par des auxiliaires parasitoïdes

Par : Camille BORTOLI

Soutenu à Angers le 12 septembre 2019

Devant le jury composé de :

Président : Bruno JALOUX

Maître de stage : Jonathan LOUIS-SIDNEY

Enseignant référent : Nicolas CHEN

Autre membre du jury :

Yann TRICAUT

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr

Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

☐ Non ☐ Oui si oui : ☐ 1 an ☐ 5 ans ☐ 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible [1].

Date et signature du tuteur de stage [2] :

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur[3] **Nom Prénom** ----------
autorise la diffusion de son travail
(immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☐ Oui ☐ Non Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☐ la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

☐ accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur :

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé
(immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☐ Oui ☐ Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.
Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☐ la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

Edito

Ce mémoire a été réalisé dans le cadre du projet TransAgriDom « Accentuer la synergie entre territoires et acteurs des Réseaux d'Innovation et de Transfert Agricole pour assurer la transition agro-écologique dans l'outre-mer français » (2018-2021). Les travaux de ce mémoire participent notamment à l'action 5 de ce projet « Des systèmes intégrateurs pour une agriculture durable – l'arbre au cœur des pratiques », qui s'intéresse particulièrement aux cultures pérennes des DOM, telles que le café. Le projet TransAgriDom est porté par les RITA, (Réseaux d'innovation et de transfert agricole dans les Outres-mers) et est financé pour une durée de trois ans. Il est lauréat de l'appel à projet MCDR « Mobilisation Collective Pour Le Developpement Rural » lancé par le ministère de l'agriculture en 2018.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes maîtres de stage Jonathan Louis-Sidney du Parc Naturel Régional de la Martinique, Rémi Picard et Eddy Dumbardon-Martial de la Fredon Martinique pour m'avoir aidé, conseillé, relu et soutenu sur l'ensemble des phases de ce stage.

Je remercie tout particulièrement Jean Lézin et Loïse Triollet pour m'avoir aidé sur l'ensemble de mon étude (contact avec les agriculteurs martiniquais et réalisation du protocole d'étude) et sans qui ce mémoire n'aurait pas pu aboutir.

Je remercie également les spécialistes Fernando Gallardo-Covas de Porto Rico, Victor Lopez-Martinez de Mexico et Gérard Delvar du Cirad pour leurs conseils et identifications préliminaires des parasitoïdes récoltés. Également Nicolas Chen mon tuteur et Yann Tricault qui m'ont toujours conseillé de manière pertinente.

Je remercie enfin l'ensemble des personnes qui m'ont soutenu pendant ces 6 mois, qui m'ont relu et conseillé sur ce mémoire et qui méritent amplement d'être citées ici : Flo, Nico, Lolo, Mymy, Hélo, Méla, Popo, Nifa, Pierre, Emma, Sophie, Marco, et ma famille.

Liste des Figures

- Figure 1 : Photo de *Leucoptera coffeella*
- Figure 2 : Schéma représentatif de la sélection des patchs au sein d'une parcelle
- Figure 3 : Photos des larves de *Leucoptera coffeella*, vue par transparence dans une feuille de café
- Figure 4 : Formule ayant permis d'estimer les variables de l'étude (Infestation et Parasitisme selon David-Rueda, 2015 ; Occupation et Pression selon Fredon, 2018)
- Figure 5 : Formule des indices de Shannon et d'Équitabilité (d'après Peet, 1975)
- Figure 6 : Photos des parcelles de café C (Morne-rouge) et D (Fort-de-France) enherbées
- Figure 7 : Photos des différents symptômes relevés sur les feuilles de café
- Figure 8 : Représentation graphique de la pression en mineuses pour 100 feuilles en fonction des différentes parcelles
- Figure 9 : Photos des différents morphotypes récoltés au sein des parcelles
- Figure 10 : Représentation graphique des indices de Shannon et d'Équitabilité en fonction des différentes parcelles
- Figure 11 : Représentation des axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales des variables quantitatives de l'étude
- Figure 12 : Schéma représentant la localisation des différents patchs au sein des parcelles selon leurs associations culturales
- Figure 13 : Zonage altitudinal pour la reprise du café en Martinique (Claude, 2015)
- Figure 14 : Représentation graphique du pourcentage de feuilles minées en fonction de l'altitude (Tuelher *et al*., 2003)
- Figure 15 : Organigramme de la poursuite d'étude sur *L. coffeella* et des stratégies possibles de protection de cultures

Liste des Tableaux

- Tableau 1 : Informations générales relatives à l'étude
- Tableau 2 : Données de la phase « terrain » de l'étude, estimation de l'infestation et de l'occupation des mines sur les parcelles
- Tableau 3 : Données de la phase « laboratoire » de l'étude, estimation du taux de parasitisme
- Tableau 4 : Répartition des différents morphotypes récoltés au sein des parcelles et identifications préliminaires

Liste des Annexes

- Annexe I : Protocole expérimental détaillé
- Annexe II : Questionnaire d'enquête auprès des agriculteurs
- Annexe III : Script R
- Annexe IV : Tableau récapitulatif des données d'enquêtes auprès des agriculteurs
- Annexe V : Tests statistique ANOVA et test de corrélation de Pearson entre les taux d'infestation et de parasitisme
- Annexe VI : Fiches techniques réalisées dans le cadre du stage
- Annexe VII : Identifications finales des parasitoïdes

Sommaire

Introduction 1
1. La mineuse du café, *Leucoptera coffeella* (Guerin-Méneville et Perrottet, 1842) 2
2. Un ravageur contrôlé par des auxiliaires parasitoïdes 2
3. Étude des interactions entre l'infestation des parcelles par la mineuse et son cortège parasitaire 3

Matériel et Méthodes 5
1. Matériel biologique 5
2. Les plantations de café conventionnées par le PNRM 5
3. Enquêtes auprès des agriculteurs 6
4. Évaluation de l'infestation par la mineuse des parcelles 6
5. Infestation des parcelles 6
6. Taux d'occupation des mines 7
7. Echantillonnage des cortèges de parasitoïdes de la mineuse 7
8. Collecte des données relatives au parasitisme 8
9. Identification des insectes collectés 8
10. Traitement statistique des données 8

Résultats 10
1. Enquêtes auprès des agriculteurs 10
2. Effort d'échantillonnage 10
3. Description des données 11
4. Interactions entre infestation et parasitisme 11
5. Le cortège parasitaire de la mineuse 12
6. Vérification des corrélations et ACP 12

Discussion 13
1. Estimation de la population de mineuse à un instant t 13
2. Une répartition du cortège parasitaire très hétérogène 13
3. Autres moyens de contrôle naturel de la mineuse 14
4. Facteurs abiotiques de régulation des populations de mineuses 15
5. Limites de l'étude et possibilités d'augmentation des connaissances 16
6. Recommandations pour favoriser le contrôle biologique de la mineuse 17

Conclusion 19

Bibliographie 21
Sitographie 25
Annexes 26

Introduction

Originaires d'Asie et d'Afrique, les caféiers sont des arbustes de la famille des Rubiacées. Le café est aujourd'hui produit dans toutes les zones tropicales de la planète, généralement en altitude. Il a été cultivé en Martinique dès le milieu du XVIIIe siècle. Introduit par le capitaine de Clieu en 1723 (Lecomte, 1869), la culture s'est très bien adaptée à l'île et a remplacé le cacao, très produit à l'époque. Découvert sur les plateaux d'Asie du sud, c'est un plant de *Coffea arabica* de la variété Typica qui a été multiplié au jardin botanique du roi de Belgique à Amsterdam, et offert au roi de France pour démarrer la culture dans les colonies.

C'est ensuite depuis la Martinique que la plante a été redistribuée dans le reste de la Caraïbe, pour aboutir plus tard à la production de cafés parmi les plus fameux au niveau mondial comme le « Blue Mountain » de la Jamaïque ou le « Bonnifieur » de la Guadeloupe (Claude, 2015). Sur l'île, les plants sont d'abord cultivés sur de petites surfaces par les paroisses et les habitants avant que la culture ne se démocratise et devienne la plante majoritairement cultivée avec la canne à sucre aux alentours du milieu du XVIIIe siècle. En 1787 on dénombre 934 habitations caféières : c'est à cette époque que la culture du café en Martinique atteint son paroxysme (Rubio, 2013). Seulement, jusqu'à la fin du XIX siècle, la production martiniquaise diminue jusqu'à presque disparaître. Plusieurs facteurs comme les cyclones, l'appauvrissement et l'érosion des terres arables et l'arrivée de maladies et ravageurs affectent sérieusement l'état des cultures (Hardy, 2012). Sur l'île de la Guadeloupe, Perrottet décrit en 1840 des caféières en très mauvais état. Il mentionne une rouille qui pourrait être plutôt dûe à des nématodes et un dérèglement de la plante qui semblerait être causé par un insecte, très certainement la mineuse du café. Malgré des tentatives de relance de la filière par le gouvernement français au cours des années suivantes, le café est progressivement remplacé par la canne à sucre qui demande une attention bien moins importante et qui est plus rentable que le café. La culture disparaît presque totalement au début du XXe siècle.

A partir de 2010, le café martiniquais refait parler de lui puisqu'une délégation japonaise de la multinationale UCC (Ueshima Coffee Compagny, 2019 ; Janot, 2010) accompagnée de spécialistes du CIRAD retrouve quelques plants du célèbre Typica à la suite de campagnes d'analyses sur l'île (prélèvements génétiques sur 5000 plants de cafés). Cette entreprise spécialisée dans le café de luxe avait déjà soutenu entre 2000 et 2007 la reprise de l'activité caféicole de l'île de la Réunion avec leur « Bourbon pointu » (Clicanoo, 2000 ; Coopérative Bourbon pointu, 2010). A partir de 2015, un partenariat se crée entre le Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM) et UCC dans le but de relancer la production d'un café d'excellence sur l'île. Plusieurs études sont réalisées entre 2014 et 2016 afin d'analyser les zones de productions idéales à cette variété (Descroix, 2014 ; Claude, 2015 ; 2016) en prenant en compte les anciennes zones de production à la fin du XVIIIe siècle.

Ainsi six parcelles pilotes sont mises en place mi 2016 grâce aux plants multipliés avec succès en pépinière par le PNRM. Au début de l'année 2018, des dégâts importants d'un ravageur phytophage sont constatés sur les nouvelles parcelles de café avec comme symptômes des mines foliaires présentes en grande quantité. Suite à une diagnostic d'une parcelle pilote par la FREDON, une infestation de 100 % des arbres due au Lépidoptère *Leucoptera coffeella* est signalée. D'après le PNRM, plusieurs agriculteurs sont concernés par l'infestation et aucune solution durable n'est encore mise en place à ce jour.

1. La mineuse du café, *Leucoptera coffeella (*Guerin-Méneville et Perrottet, 1842)

Les mineuses du genre *Leucoptera* sp. sont des Lépidoptères de la famille des Lyonetiidae et comptent parmi les principaux ravageurs des caféières de par le monde. *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, Perrottet, 1842) est la seule espèce de Lépidoptères dont la chenille est une mineuse du café sur le continent américain et dans les Antilles. La consommation du parenchyme palissadique par la larve a pour effet direct une forte réduction de l'activité photosynthétique de l'arbre ce qui a pour conséquence une diminution significative des rendements. Au Brésil, premier pays producteur de café au monde, il a été montré que si une parcelle présentait une infestation de 40%, le rendement diminuait de 20% (Gallardo-Covas, 1988 ; Pereira *et al*., 2007).

Bien que s'attaquant à toutes les espèces de café, *L. coffeella* a cependant un impact différent en fonction de l'espèce. Les parcelles de *Coffea canephora* sont moins sensibles que celles de *C. arabica* (Vega *et al*., 2006 ; Gallo *et al*., 2002). A part les espèces du genre *Coffea,* il n'est pas mentionné d'hôtes alternatifs pour la mineuse dans la bibliographie (Gallardo-Covas, 1988 ; Marcy *et al*., 2013).

La description de la mineuse a été réalisée par Guerin-Méneville en France d'après les observations de Perrottet en Guadeloupe (Guérin-Méneville, Perrottet, 1842). Néanmoins, l'hypothèse généralement admise est que cette espèce a été introduite en Amérique par une plante hôte unique, vu que les *Coffea* sp. n'ont été introduits que récemment sur ce continent (XVIIIe siècle) (Green, 1984). Le genre *Leucoptera* est présent de manière généralisée sur le globe majoritairement là où sont cultivés des cultures de café (tous genre de Coffea confondus) (Roychoudhury, 1999). En 1958, Bradley met à jour des erreurs d'identification concernant des mineuse du café en Afrique de l'Est, signalées à tort comme *L. coffeella* alors qu'il s'agissait de l'espèce *L. meyricki* (Bradley, 1958). La provenance de *L. coffeella* est encore aujourd'hui supposée des régions natives du café comme Madagascar ou la Réunion (Green, 1984) avant d'être introduite lors d'un voyage unique avec son hôte vers le Nouveau Monde (Pantoja-Gomez *et al*., 2019), d'abord vers les Antilles puis vers l'Amérique du Sud (majoritairement Colombie et Brésil).

Depuis cette description, *L. coffeella* a été très étudiée dans les aires principales de production et notamment sur les méthodes de gestion de ce ravageur. Au Brésil et en Amérique Centrale, le contrôle chimique de la mineuse est encore aujourd'hui la méthode la plus employée avec plus de 94 produits différents représentant environ 32 matières actives (David-Rueda, 2015 ; Gallo *et al*., 2002) alors qu'aucun usage n'est autorisé aux Antilles françaises. (ANSES, 2019). La démarche d'obtention d'une extension d'usage est longue et fastidieuse. De plus, ces méthodes de lutte ont été démontrées à plusieurs reprises comme étant dangereuses pour l'environnement et la faune auxiliaire et c'est pourquoi l'étude d'autres méthodes de contrôle a été envisagée assez tôt notamment grâce à la mise en place de stratégies de luttes intégrées (Gallardo-Covas, 2017).

2. Un ravageur contrôlé par des auxiliaires parasitoïdes

Une grande diversité d'ennemis naturels de *L. coffeella* a été identifiés, qu'il s'agisse de prédateurs ou de parasitoïdes[1]. Pour les prédateurs, une étude de 2018 au Mexique signale cinq espèces de guêpes prédatrices, principalement des Polistinae (Constantino *et al*., 2018). Ces polistes coupent le bord de la mine pour en extraire les larves qui servent à nourrir

[1] Il sera utilisé le mot générique parasitoïdes pour identifier les chalcidiens parasitoïdes de la mineuse.

leur descendance sous la forme de bouillie. Au Chiapas, Lomeli-Flores et son équipe ont montré que la prédation de la mineuse étaient également réalisée par 13 espèces de fourmis différentes en Amérique Centrale (Lomeli-Flores *et al*., 2009).

Une vingtaine d'espèces parasitoïdes de la mineuse a été décrite dans la zone Néotropicale. La Caraïbe est majoritairement représentée par le cortège d'espèce *Mirax insularis* (Braconidae), *Zagrammosoma multilineata* (Eulophidae), *Chrysocharis livida* (Eulophidae), ainsi que *Horismenus cupreus* (Eulophidae) (Gallardo-Covas, 1992). Ces micro-hyménoptères sont des parasitoïdes ectoparasites des larves de mineuse et ont été décrits pour la plupart, peu de temps après leur hôte. Il a été montré que le braconidé *M. insularis* (Muesebeck, 1937) en Guadeloupe était responsable de la destruction de plus de 60% des mineuses au milieu du XXe siècle (Gallardo-Covas, 1992). Très étudié par la suite au Brésil et à Porto Rico, il y a été introduit en 1932 dans le cadre d'un programme de gestion intégrée de la mineuse, où il est encore actif aujourd'hui. (Gallardo-Covas, 2006 ; Daza, 2013 ; Marcy *et al*., 2013). De récentes études montrent une régulation de la pression sanitaire exercée par les mineuses se traduisant par un taux de parasitisme de 50% à 80% ce qui peut permettre de réduire considérablement la pression en mineuses sur les plantations de café (Lomeli-Flores, 2007b ; Lomeli-Flores *et al*., 2009 ; Pereira *et al*., 2007). Les seules données disponibles relatives au cortège de *L. coffeella* dans les Petites Antilles concernent les travaux de Gallardo-Covas qui mentionne la présence de plusieurs espèces d'Eulophidea et le Braconidae *M. insularis* (Gallardo-Covas, 2017). En Martinique, même si la culture de café a été pratiquée sur l'île pendant une longue période, il n'y a pas eu d'étude récentew de la faune auxiliaire pour la mineuse.

3. Étude des interactions entre l'infestation des parcelles en mineuse et son cortège parasitaire

Dans ce contexte et afin de répondre à cette contrainte phytosanitaire, il apparaît souhaitable d'évaluer les possibilités de mise en œuvre d'une stratégie de contrôle de la mineuse du café en s'appuyant sur la lutte biologique. Pour ce faire, il est nécessaire de caractériser le cortège d'ennemis naturels de la mineuse du café en Martinique et de renseigner dans quelles mesures il participe au contrôle des populations de mineuses dans les caféières pilotes de l'île. A cette fin, il est proposer d'échantillonner les populations de mineuses et le cortège de parasitoïdes associées dans les différentes parcelles pilotes du PNRM.

Partant de l'hypothèse que le contrôle biologique par les parasitoïdes est le principal facteur de régulation des populations de mineuses du café de Martinique, l'objectif de cette étude est de tester si le taux de parasitisme des mineuses du café permet d'expliquer le niveau d'infestation par ces mêmes mineuses, dans les différentes caféières martiniquaises. Il est donc possible de problématiser l'étude comme suit :

Dans quelles mesures peut-on expliquer l'infestation des parcelles de café par la mineuse, *L. coffeella* avec le taux de parasitisme des espèces parasitoïdes qui l'accompagnent ?
Quelles sont les espèces qui composent ce cortège parasitaire et comment pourrait-on, grâce aux données récoltées, organiser la mise en place d'un plan de gestion intégrée de la mineuse se basant sur la faune auxiliaire parasitaire présente dans l'environnement ?

Il est pertinent d'ajouter à cette problématique certaines questions subsidiaires :

- L'incidence en mineuse du café est-elle homogène dans toute les parcelles de café ? Comment peut-on expliquer une possible hétérogénéité ?
- La distribution des espèces de parasitoïdes est-elle homogène sur les différentes parcelles? Une possible hétérogénéité de cette distribution pourrait-elle avoir des conséquences sur le niveau d'infestation ?
- Existe-t-il des différences significatives du taux de parasitisme entre les différentes parcelles observées ?

Figure 1 : (en haut) Photos d'oeufs et du cocon de L. coffeella (d'après Gallardo-Covas, 2014), (en bas) Photos de la mineuse du café adulte (d'après Bold system, 2018)

Matériel et Méthodes

1. Matériel biologique

Bien que *L. coffeella* ait été décrite de Guadeloupe, peu de travaux ont été réalisé sur sa biologie aux Antilles. Elle a cependant été décrite et largement étudiée au Brésil (Gallo *et al*., 2002). Ce petit papillon blanc mesure environ 2,1mm et est reconnaissable à ses soies et écailles blanches les parties dorsales de son corps. L'éclosion des œufs a lieu juste après l'aurore mais les imagos ne commencent à voler qu'au crépuscule pour la recherche d'un partenaire et attendent sur les arbres la journée. La copulation a lieu en vol puis le couple reste *in copula* au sol pendant quelques heures. La femelle pond ensuite ses œufs sur la face supérieure des feuilles durant plusieurs heures après la tombée du jour.

Une femelle de *L. coffeella* pond au maximum 75 œufs sur plusieurs feuilles de caféier. Ces œufs éclosent en moyenne 7 à 8 jours plus tard (5 jours à 25°C). Les jeunes larves commencent immédiatement à miner la feuille après éclosion et les mines d'un groupe se rejoignent environ 2 à 4 jours après le début de la phase larvaire. Celle-ci dure en moyenne 15 à 22 jours dans les Antilles et compte 4 stades larvaires. La construction du cocon et la métamorphose en chrysalide marque la fin de la phase larvaire. Cette dernière est mise en place plutôt sur la face inférieure de la feuille pendant une journée. L'adulte éclos en moyenne 6 jours plus tard. La durée totale de développement de *L. coffeella* est de 27 à 30 jours à 25°C et le papillon peut faire jusqu'à 12 générations par an si les caractéristiques climatiques sont optimales (Figure 1). Notley (1948) a effectué des tests au champ qui ont permis d'évaluer le taux de multiplication de la mineuse *L. meyricki* par génération. Ces observations s'approchent des théories de dynamique des populations de ravageurs en conditions optimales de développement avec une multiplication de la population par 25 par génération.

2. Les plantations de café conventionné par le PNRM

Les agriculteurs ont répondu à un appel d'offre lancé par le parc en 2015 et ont été retenus en fonction des caractéristiques géographiques et pédoclimatiques de leurs parcelles. Une convention a été signée entre le PNRM et chaque agriculteur sélectionné et des préconisation de plantations ont été distribuées sans obligation d'application cependant (Parc Naturel Régional de la Martinique, 2015 ; 2016).

Les parcelles de café sont situées dans le nord Caraïbe de l'île et ont été plantées il y a trois ans. Elles se situent entre 350 et 600m d'altitude autour de quatre communes (Morne-Vert, Morne-Rouge, Bellefontaine et Fort-de-France). Parmi les six producteurs conventionnés par le PNRM, 5 ont été retenus pour l'étude après les enquêtes réalisées. L'étude a été effectuée en collaboration avec la FREDON Martinique qui avait réalisé un diagnostic phytosanitaire en juin 2018 sur une des parcelles pionnières (Fredon, 2018). Le protocole d'étude est disponible à l'Annexe 1.

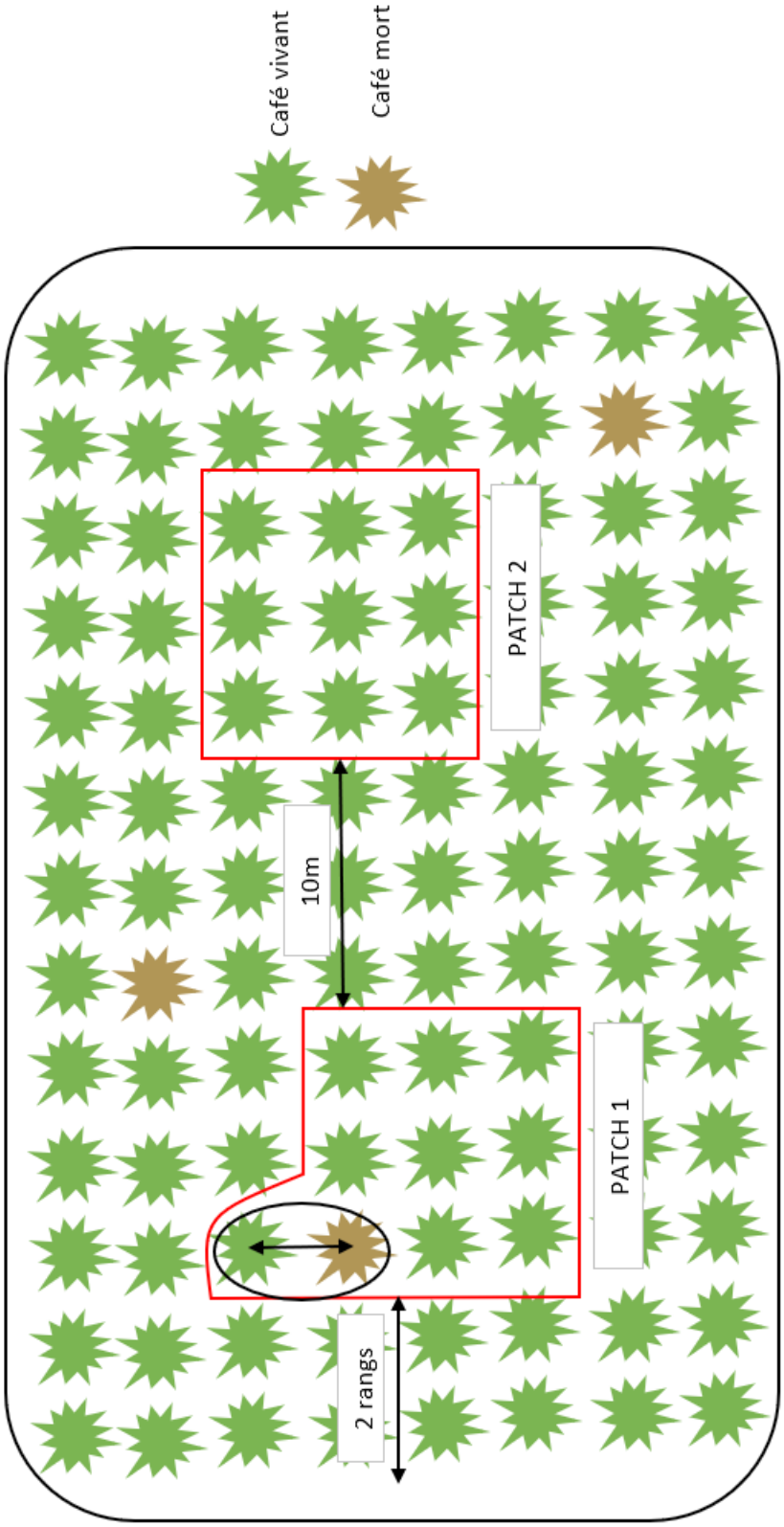


Figure 2 : Schéma représentatif de la sélection des patchs au sein d'une parcelle (Bortoli, 2019)

3. Enquête auprès des agriculteurs

Dans un premier temps, une enquête auprès des différents producteurs permet de faire ressortir les points majeurs de l'organisation de l'agriculteur ainsi que les spécificités des systèmes de culture du café. L'objectif de celle-ci est d'avoir une vision d'ensemble des exploitations conventionnées pour la production de café d'excellence et de choisir les parcelles à échantillonner dans le cadre de l'étude. Le questionnaire est disponible en Annexe 2.

Après une présentation globale des objectifs de l'étude, vient une série de questions générales sur l'exploitation permettant d'en dresser son portrait. Les question suivantes sont plus spécifiques sur le café et permettent de montrer l'ensemble des opérations culturales réalisées sur la culture ainsi que les décisions prises depuis l'implantation. L'enquête se termine par une question ouverte sur les perspectives d'évolution de l'agriculteur concernant le café dans un premier temps. Dans un deuxième temps, les contraintes principales rencontrées pour cette culture. L'enquête se termine par une visite de la parcelle de café afin d'obtenir les références GPS des différentes parcelles, certaines caractéristiques physique des parcelles (altitude, orientation, surface…) ainsi que des informations sur l'environnement direct des parcelles (maraichage, forêts, degré d'urbanisation, autre culture…).

4. Évaluation de l'infestation en mineuse des parcelles

Afin d'évaluer l'impact de la mineuse et son contrôle biologique dans les parcelles, un protocole d'étude a été définit. Il permet notamment de collecter les données nécessaires à l'échantillonnage du cortège parasitaire de la mineuse. Ce protocole se divise en 3 étapes :

- Évaluation de la pression en mineuse des différentes parcelles.
- Collecte des données relatives au parasitisme des différentes espèces du cortège.
- Identification des morphotypes et traitement statistique des données.

Afin que l'échantillonnage soit représentatif de l'ensemble des arbres des parcelles, les comptages de feuilles pour les taux d'infestation ont été réalisés sur 45 arbres répartis en cinq « patchs » de neuf arbres, choisis aléatoirement sur la surface cultivée (Gallardo-Covas, 2006). Pour limiter les possibles effets de bordures, certaines parties des surfaces cultivées n'ont pas été retenues lors de la sélection des patchs. Ils sont illustrées par la Figure 2 :

- Celles situées à au moins 2 rangs de la bordure des parcelles
- Un minimum de 10m d'intervalle entre deux patchs
- La sélection d'un arbre juxtaposé si un des arbres du patch est mort

5. Infestation des parcelles

Une fois les caféiers choisis et afin d'obtenir une moyenne représentative du feuillage global de chaque caféier, les comptages ont été réalisés sur trois rameaux au niveau de chacune des 3 strates basse, moyenne et haute (canopée), soit 9 rameaux/caféier.

Les observations pour déterminer les taux d'infestation et d'occupation des mines ont été réalisées sur les arbres des patchs sélectionnés. Le taux d'infestation des feuilles correspond à la proportion de feuilles minées par rameau sur le nombre total de feuilles du rameau (David-Rueda, 2015). Cette méthode permet d'estimer la pression globale et localisée de la mineuse sur les parcelles.

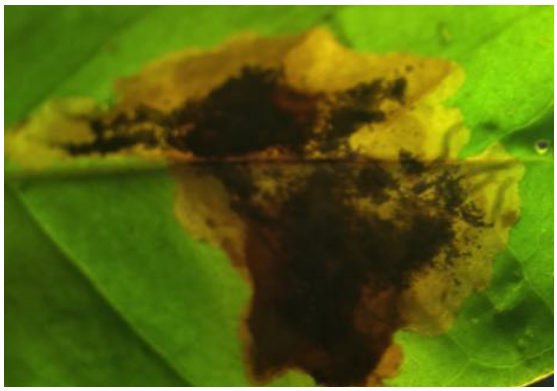


Figure 3 : Photos des larves de *L. coffeella* vue par transparence dans une feuille de café (Bortoli 2019)

Un comptage du nombre de feuilles présentant des mines foliaires (noté fm) et du nombre de feuilles saines (fs) est effectué sur les arbres sélectionnés. Au total, 135 rameaux sont échantillonnés sur les 45 arbres sélectionnés. La mesure d'infestation moyenne (moyenne des 135 rameaux) permet de rendre compte de l'infestation au niveau parcellaire alors que la mesure d'infestation au sein de chaque patch (moyenne de 27 rameaux) permet d'obtenir une information plus localisée de l'infestation au sein des parcelles.

6. Taux d'occupation des mines

Le taux d'occupation des mines correspond à la proportion des mines sur les feuilles étant actuellement occupées par des chenilles de mineuses. Il permet de rendre compte de la dynamique d'infestation des mineuses sur la parcelle et plus globalement de la quantité de mineuses effectivement présentes dans la parcelle au moment des observations. On parle alors de mines actives qui font oppositions aux mines vides. Sur le feuillage des arbres des 5 patchs sélectionnés, sont observées (un minimum de) 100 mines. Le nombre de mines occupées (mo) et le nombre de mines vides (mov) sont ensuite comptées.

7. Echantillonnage des cortèges de parasitoïdes de la mineuse

Les parasitoïdes de *L. coffeella* sont collectés à la suite de l'élevage des feuilles de caféiers présentant des mines actives occupées par des chenilles de mineuse. Le nombre de feuilles à récupérer dans chacune des 5 parcelles échantillonnées a été déterminé à partir des données disponibles dans la bibliographie, notamment le rapport phytosanitaire de la Fredon (2018) où 404 feuilles sont échantillonnées sur une parcelle ou les travaux de F. Gallardo-Covas à Porto Rico, réalisés à partir d'échantillons de 100 feuilles par parcelle (Gallardo-Covas, 1988 ; 2006) ou encore les travaux de G. David-Rueda en Colombie qui a échantillonné environ 600 feuilles par parcelle (David-Rueda, 2015). Il a ainsi été choisi de collecter une moyenne du nombre de feuilles généralement retenu dans la bibliographie, soit 200 feuilles, au cas où le parasitisme serait significativement plus faible que dans les cas rapportés.

Au champ, les larves des mineuses peuvent être observées par transparence de la feuilles (Figure 3) ce qui permet de juger l'activité d'une mine. Aussi lorsque c'est possible, 50 feuilles présentant des mines actives sont récoltées dans chaque patch de 9 arbres ce qui correspond à 250 feuilles collectées par parcelle. Si ce nombre de feuilles n'est pas atteint, la collecte est complétée en récoltant des feuilles minées aléatoirement dans le reste de la parcelle.

Les feuilles échantillonnées sont mises en élevage le jour même de la récolte afin d'éviter leur déshydratation. Elles sont triées au laboratoire pour retenir les 200 feuilles qui sont mises dans des boîtes de Petri selon le protocole décrit par David-Rueda (2015). Quatre feuilles sont disposées par boite de pétri de 15cm de diamètre et des boîtes plastiques (20x15cm). Afin d'éviter la superposition des feuilles dans les boites, un découpage de celles-ci est effectué. Lors de la mise en élevage, plusieurs données qui sont les suivantes sont également collectées et sont référencées par boite :

- Comptage du nombre de mines total (m)
- Découpage et comptage des pupes présentes sur les feuilles et mises en réserve dans une boite séparée (p)
- Comptage du nombre total de larves visibles au sein des mines (l)

Ces premières mesures permettent d'obtenir une idée du nombre total d'imagos (mineuses adultes et parasitoïdes) qui peuvent être récupérés ainsi que de calculer un premier taux de larves par mine. Ce taux initial théorique sera comparé au taux réel calculé grâce aux récoltes d'imago en fin d'étude.

8. Collecte des données relatives au parasitisme

Au total, 2 observations sont réalisées par boites à 1 semaine d'intervalle. Ces observations permettent d'échantillonner les imagos de mineuses et de parasitoïdes émergeant des mines. Lors de la première observation, seuls les parasitoïdes sont récupérés (n), les imagos des mineuses sont dénombrés mais laissés dans la boîte (nbim). Lors de la deuxième observation le nombre total de pupes (pn) est compté et, après un passage au congélateur afin de tuer mineuse et parasitoïdes, tous les insectes présents dans la boîte sont dénombrés, récoltés et conservés dans l'alcool absolu.

9. Identification des insectes collectés

Au total, deux types d'insectes sont collectés, les imagos de *L. coffeella* ainsi que les parasitoïdes échantillonnés à partir des feuilles minées. Pour les parasitoïdes, l'indentification des spécimens se base sur la méthode RBA (Rapid Biodiversity Assessment) qui consiste en un classement des individus récoltés selon certains critères morphologiques (on parle alors de morpho-espèces ou morphotypes). La différenciation des morphotypes a été réalisée selon les caractères morphologiques suivantes :

- Taille du corps
- Morphologie des ailes (nervation)
- Couleur du corps

Cette méthode permet de différencier plusieurs spécimens tout en négligeant la notion précise d'espèce. De plus, la différenciation des morphotypes seule permet de traiter l'ensemble des données récoltées et de réaliser les traitements statistiques appropriés en s'affranchissant préalablement d'une richesse spécifique réelle. Les différents morphotypes peuvent être validés par des experts pouvant être contactés. Des identifications plus précises sur photos et à partir de spécimens sont réalisées avec l'aide des spécialistes. Ces identification permettent d'apporter plus de précision aux données récoltées Enfin, des échantillons de mineuses (sèches en papillotes et dans l'alcool) sont envoyés au centre de l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation) responsable des ravageurs tropicaux afin de réaliser une identification moléculaire. Les résultats de ces identifications plus précises ne seront pas disponibles avant le rendu du présent mémoire mais seront nécessaires à la validation du statut spécifique du ravageur et des parasitoïdes associés.

10. Traitement statistique des données

Le traitement des données est, dans un premier temps, effectué grâce au logiciel Excel. L'objectif est de créer les variables qui seront traitées statistiquement grâce au logiciel RStudio. Premièrement, les taux d'infestation et d'occupation sont calculés au niveau parcellaire en effectuant respectivement les ratios du nombre de feuilles minées par rameau et du nombre de minées occupées par patchs de 9 arbres. Ensuite, le taux de parasitisme est calculé par le nombre total de parasitoïdes émergés sur le nombre total d'insectes émergés (mineuses et parasitoïdes). Enfin, l'évaluation de la pression en mineuse pour 100 feuilles est

$$Infestation = \frac{Feuilles\ minées}{Feuilles_{Totales}} \times 100 \qquad Parasitisme = \frac{Parasitoïdes\ émergés_{Total}}{Insectes\ émergés_{total}} \times 100$$

$$Occupation = \frac{Mines\ actives}{Mines_{total}} \times 100 \qquad Pression = \frac{Insectes\ émergés_{total} \times Infestation}{Feuilles\ récupérées} \times 100$$

Figure 4 : Formules ayant permis d'estimes les variables de l'étude (Infestation et Parasitisme selon David-Rueda, 2015; Occupation et Pression selon Fredon, 2018)

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \log_2 p_i \qquad \text{Équitabilité} = H'/H'_{max}$$

Figure 5 : Formules des indices de Shannon et d'Équitabilité (d'après Peet, 1975)

calculée grâce aux données précédentes. La pression en mineuse (notée Press) correspond à une estimation du nombre de larves vivantes pour un échantillon de feuilles au sein d'une parcelle. Les formules des taux d'infestation et de parasitisme sont identiques à celles établies par David-Rueda (2015) et sont présentées ci-contre. L'occupation des mines et la pression en ravageurs ont été estimées grâce aux formules de la Figure 5.

Dans un second temps, les indices de Shannon et d'équitabilité sont calculés selon les formules présentées ci-contre (Figure 5, Peet, 1975 ; Kissayi *et al*., 2017) et permettent de montrer la répartition des espèces au sein d'une parcelle et au sein de tout l'écosystème (Indice au niveau de la parcelle et Indice global regroupant toutes les parcelles). L'indice d'équitabilité permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique.

La suite du traitement des données est réalisée grâce au logiciel RStudio (l'ensemble du script est disponible en Annexe3) (Outreman, 2018). Il est d'abord effectué une analyse descriptive des données, le but etant d'essayer d'expliquer l'infestation des parcelles en mineuse grâce aux variables identifiées (taux de parasitisme, pression en ravageurs etc…). Une analyse en composante principale (ACP) est d'abord effectuée.

Celle-ci permet de montrer les corrélations possibles et les rapprochements entre les différentes variables quantitatives. Grâce à l'Anova ainsi que le test de corrélation de Pearson, il est possible de construire ensuite un modèle qui peut permettre de valider ou non la problématique posée. Les tests proposés sont discutés grâce à l'étude de la normalité des résidus et de la qualité prédictive du modèle. Les indices de diversité calculés sont également testés par un test de Student permettant d'observer les différences possiblement significatives entre les parcelles de café.

Tableau 1 : Informations générales relatives à l'étude (Bortoli, 2019)

Parcelle	Localisation	Enquêtes	Collectes	Fin des élevages
A	Morne-Vert	20/03/2019	27/05/2019	11/06/2019
B	Morne-Vert	02/04/2019	28/05/2019	12/06/2019
C	Morne-rouge	20/03/2019	29/05/2019	14/06/2019
D	Fort-de-France	02/04/2019	03/06/2019	17/06/2019
E	Bellefontaine	22/03/2019	04/06/2019	19/06/2019

Figure 6 : Photos des parcelles de café C (Morne-rouge, en bas) et D (Fort-de-France, en haut) ayant un problème d'enherbement (Bortoli, 2019)

Figure 7 : Photos des différents symptômes relevés sur les feuilles de café (Bortoli, 2019)

Résultats

1. Enquêtes auprès des agriculteurs

Les parcelles de café choisies suites aux enquêtes ont été plantées mi 2016. Elles ont une surface moyenne de 0.68±0.7 ha, et sont situées dans un rayon de 10km dans le nord caraïbe, entre 350 et 600m d'altitude et présentées dans le Tableau 1. Les enquêtes auprès des agriculteurs se sont déroulées en amont de l'étude soit du 21 mars au 02 avril 2019.

Concernant l'état général des parcelles, 3 sur 5 sont caractérisées par une forte pente (>30°), les deux autres étant relativement planes. D'après une étude réalisée en 2014 sur les caractérisations des sols adéquates au développement du café, 4 parcelles sur 5 sont des sols bruns et/ou andosols qui présentent une profondeur supérieure à 90 cm ce qui est optimal pour la culture. Durant l'étude, les cafés commençaient leur phase de floraison et la majorité des pieds étaient porteurs de cerises à la fin de la phase de terrain.

D'après les agriculteurs, 4 sur 5 se disent plutôt mécontents des caféières avec en cause principale le désherbage difficile autour des arbres et en second motif les dégâts occasionnés par la mineuse. Les premières visites sur les parcelles ont confirmé cet aspect encombré et attaqué des pieds de café avec la quasi-totalité des surfaces très enherbées (Figure 6). Au niveau de l'environnement parcellaire direct, deux d'entre elles sont entourées de forêts composées de grands arbres subendémique comme par exemple le bois blanc (*Simarouba amara*), le mahogany (*Swietenia mahagoni*), le bois d'inde (*Pimenta racemosa*) ou l'arali (*Clusia major*). Pour les autres parcelles, on retrouve des activités de maraichage ou de l'arboriculture fruitière. Au niveau intraparcellaire, 3 sur 5 présentent diverses associations culturales avec principalement du maraichage (choux, manioc, plantes aromatiques, dachine, piment…) et des arbres fruitiers isolés comme du fruit à pain (*Artocarpus altilis*) ou des agrumes.

Excepté le désherbage qui est réalisé deux fois par mois principalement de manière manuel (et chimique pour une parcelle), aucune autre action culturale n'est effectuée. Aucun des arbres n'a été taillé depuis la plantation ainsi que les gourmands qui dans quelques cas présentent une forte croissance. Toutes les parcelles sont fertilisées à l'aide d'engrais organiques, principalement de la fiente de poule déposée fraiche ou sèche au pied des arbres. Comme énoncé plus haut, les parcelles paraissent très attaquées et les feuilles des cafés présentent diverse symptômes comme des mines foliaires, des chloroses ou des brulures solaires (Figure 7). Les données des enquêtes sont résumées en Annexe 4.

2. Effort d'échantillonnage

L'étude de terrain s'est déroulée entre le 27 mai et le 19 juin 2019. En moyenne, 3524 feuilles ont été comptées par parcelle pour la mesure de l'infestation. 250 feuilles minées actives ont été récupérées sur quatre parcelles. Pour la cinquième, seulement 48 feuilles ont été récupérées en raison de la faiblesse de l'incidence en mineuse. Pour les comptages effectués au laboratoire une moyenne de 1,73±0,17 larves ont été répertoriées par mine et sur les 3377 pupes récoltées, il a été calculé un taux de mortalité de 21,8%.

Tableau 2 : Données de la phase « terrain » de l'étude, estimation de l'infestation et de l'occupation des mines sur les parcelles

Parcelle	FM	FS	Infestation	Occupation
A	3856	1756	0,7139	0,0694
B	823	1907	0,2509	0,1103
C	1207	1050	0,5639	0,462
D	434	1812	0,1849	0,7594
E	10	4736	0,0056	0,04

Tableau 3 : Données d'élevage de l'étude, estimation du taux de parasitisme

Parcelle	Nbim	N	Parasitisme
A	307	215	0,4130
B	762	4	0,0102
C	762	8	0,0189
D	549	0	0
E	147	0	0

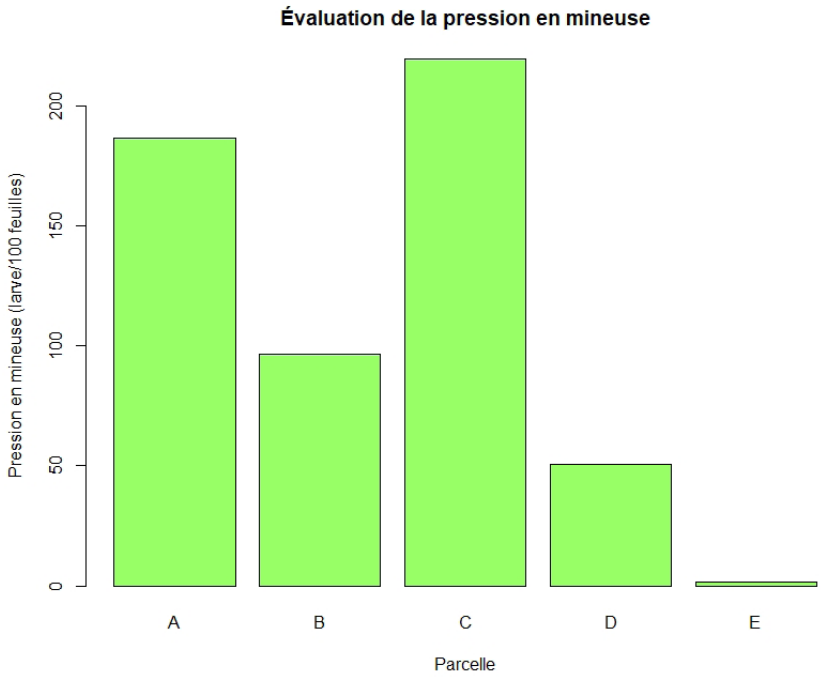


Figure 8 : Représentation graphique de la pression en mineuse pour 100 feuilles en fonction des différentes parcelles

3. Description des données

L'analyse des données estimées sur les parcelles montre une disparité visible concernant les taux d'infestation et d'occupations des mines comme le montre le Tableau 2 ci-contre. Celles-ci sont de (Moyenne ± écart-type) 34,39%±28,88% de feuilles minées pour 15,12%±17,53% de mines occupées. La parcelle A est la plus infestée avec environ 71,4%±15,5% des feuilles minées et 6,94%±2,9% des mines occupées. Cette différence entre infestation et occupation n'est pas homogène sur toutes les parcelles.Alors que la parcelle C montre respectivement un taux d'infestation et un taux d'occupation de 56,4%±32,6% et de 46,2%±17,5%, la parcelle E semble baucoup moins infestée avec 0,57%±3,2 de feuilles infestées avec une occupation plus faible également de 4%±8,9%.

Les données d'élevage sont présentées sur le Tableau 3 ci-contre. Sur les 848 feuilles mises en élevage, 2527 imagos de *L. coffeella* ont émergé pour 240 parasitoïdes. Sur les 5 parcelles expérimentées, les parasitoïdes ont émergé des feuilles de trois d'entre-elles et le taux de parasitisme moyen sur les 5 parcelles est de 8,84%±18,16% avec une différence très forte entre la parcelle A et les autres avec 41,3% de parasitismes. Les parcelles B et C et D et E présentent un taux assez similaire de parasitisme respectivement de 1,456%±0,62% et 0%.

La pression en ravageur est également assez hétérogène sur les 5 sites. La Figure 8 montre l'estimation de ce paramètre. En moyenne, les parcelles présentent une pression de 111,03±91,16 larves vivantes pour 100 feuilles.

4. Interactions entre infestation et parasitisme

Selon l'hypothèse globale de l'étude qui est de tenter d'expliquer le taux d'infestation observé sur les différentes parcelles par le taux de parasitisme estimé suite aux études en laboratoire, il a été d'abord effectué un test de normalité des données. L'histogramme de l'infestation des parcelles ne présentant pas une distribution normale, l'utilisation de la fonction racine(x) permet d'obtenir une distribution quasi-normale et est utilisable pour le test d'ANOVA à plusieurs facteurs. Pour des données non normales, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis (K-w) est effectué. La p-valeur étant supérieur à $\alpha/2$ (0,41 > 0.02) et il n'est pas possible d'affirmer qu'il existe une différence significative au sein des parcelles que ce soit pour les données d'infestation ou de parasitisme.

Le test d'ANOVA est effectué avec comme variable expliquée le taux d'infestation et comme variables explicatives, le taux de parasitisme, la pression globale en ravageur ainsi que le taux d'occupation des mines. Les résultats du test ne montrent qu'aucune des variables ne permet d'expliquer significativement le taux d'infestation des parcelles car la p-valeur du test de Fisher pour l'ANOVA étant supérieur à α (0,099 > 0.005). Afin de préciser l'infirmation de l'hypothèse initiale, un test de corrélation de Pearson est effectué entre les taux d'infestation et de parasitisme. Ici encore, l'hypothèse H0 n'est pas validée car la p-valeur est supérieure à α (0.1496 > 0.005). Il n'y a donc pas de corrélation entre les taux d'infestation et de parasitisme sur les différentes parcelles (Annexe 5).

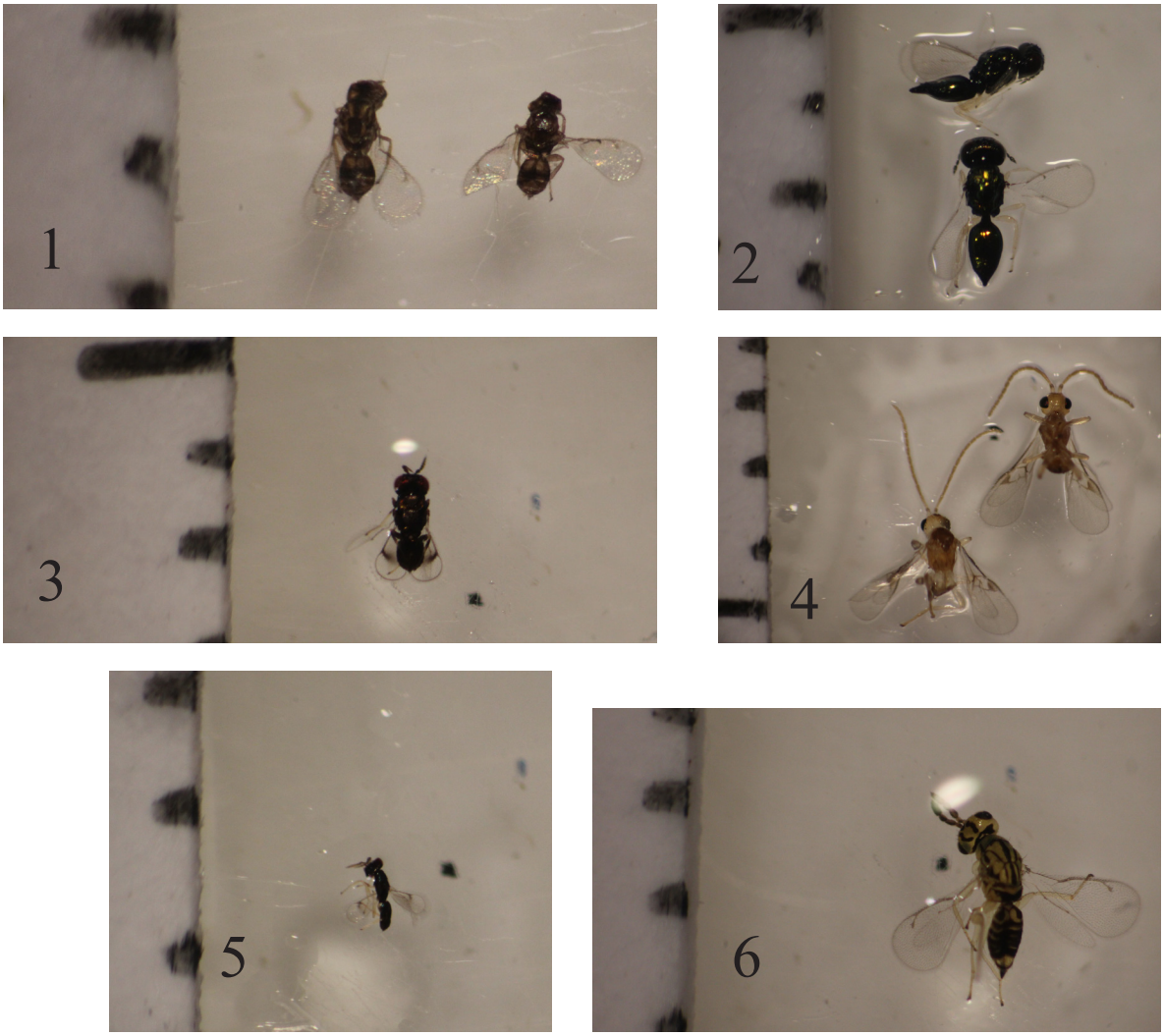


Figure 9 : Photos des différents morphotypes récoltés au sein des parcelles, l'échelle à gauche est en millimètre (Les chiffres présents sur les photos correspondent au numéro du morphotype utilisé dans ce mémoire) (Bortoli, 2019)

Tableau 4 : Répartition des différents morphotypes récoltés au sein des parcelles et identifications préliminaires

Parcelles			**Morphotypes**			
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
A	2	2		212		
B	2	4			1	1
C	4	11	1			
D						
E						
Identification préliminaire	*Cirrospilus sp*	*Horismenus sp*	*Neochrysocharis sp*	*Mirax sp*	*Closterocerus sp*	*Cirrospilus sp*

5. Le cortège parasitaire de la mineuse

Comme énoncé précédemment, 240 parasitoïdes ont émergé des feuilles de café mis en élevage. Au total, 6 morphotypes (M1 à M6) sont catégorisés selon la méthode RBA et validés par Mr. Gallardo-Covas. Ces morphotypes sont présentés en photos ci-après (Figure 9). Le M6 est le plus grand des morphotypes collectés avec environ 2,5mm alors que le plus petit est le M3 avec 0,9mm estimé. Sur les 240 individus collectés, environ 5% ont émergé des pupes de *L. coffeella* (exactement 13 sur 17 individus du M2) ce qui permet de ne pas exclure l'existence de parasitoïdes émergeant pendant la phase pupale du développement de la mineuse.

La détermination au rang d'espèce des morphotypes a été faite par la suite par Mr. Delvare, systématicien spécialiste des chalcidiens à l'UMR CBGP (Centre de Biologie pour la Gestion des Populations) en France, pour les Eulophidae, et Mr. Lopez-Martinez de Mexico, pour les Braconidae. Ils permettent de préciser la différenciation des espèces collectées. Le Tableau 4 présente la répartition parcellaire des morphotypes collectés avec une identification préliminaire pour chacun d'eux. (L'identification finales des parasitoïdes est disponible en Annexe VII)

La répartition des individus collectés montre une forte hétérogénéité entre les parcelles. Afin d'étudier plus précisément cette répartition, les indices de Shannon et d'équitabilité sont calculés et présentés grâce à la Figure 10 ci-après. Ici, l'indice de Shannon, varie de 0 à 1,79 (ce qui correspond au logarithme de la richesse) et l'équitabilité de 0 à 1.

6. Vérification des corrélations et ACP

Une analyse en composante principale (ACP), est finalement réalisée en intégrant les variables quantitatives précédemment estimées. L'objectif est de comparer l'ensemble des variables collectées au sein des parcelles afin d'observer des possibles rapprochements qui pourraient amener à la réalisation de nouveaux tests. Le pourcentage cumulatif d'inertie des deux premiers axes permet respectivement d'expliquer 51,5% et 31,5% de celle-ci. Les projections des axes 3 et 4 ne permettent quant à elles, pas d'expliquer plus de 50% de l'inertie, il n'est donc pas pertinent de les étudier. Le résultat de l'ACP (Figure 11 ci-après) fait apparaitre que certaines variables semblent être corrélées entre elles, l'indice de Shannon et le taux de parasitisme qui s'opposent sur l'axe 2 et le taux d'infestation et l'altitude qui présentent des flèches de directions opposées sur l'axe 1.

Bien que le test de Pearson ne permette pas de montrer une corrélation significative entre les variables, l'ACP montre une tendance entre certaines d'entre elles qui pourraient être vérifiées dans une étude ultérieure. Dans le premier cas, la répartition de la diversité des parasitoïdes pourrait influencer négativement le taux de parasitisme de la mineuse du café. Le deuxième cas quant à lui montre des résultats que l'on peut retrouver dans la bibliographie à savoir la plus grande sensibilité du café à basse altitude, la culture se développant idéalement entre 700 et 1200m (Bouharmont, 1998 ; Claude, 2016 ; Kimani *et al*., 2002).

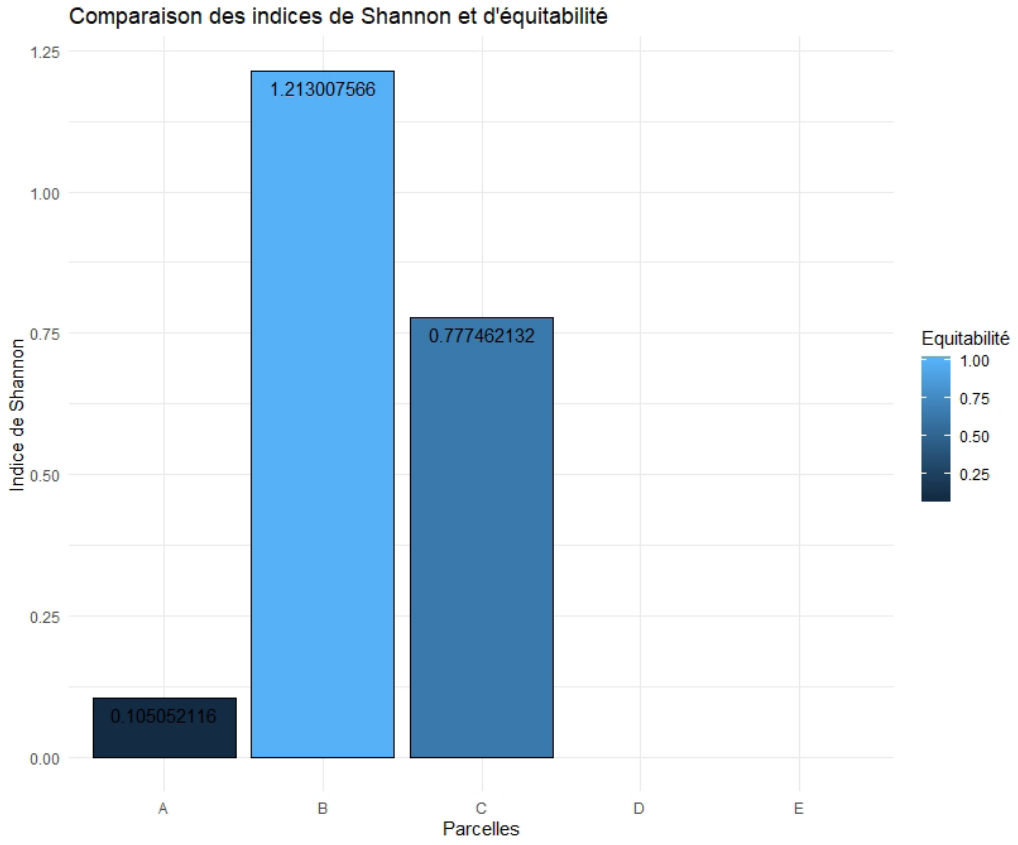


Figure 10 : Représentation graphique des indices de Shannon (barplot) et d'Équitabilité (dégradé de couleur) en fonction des différentes parcelles

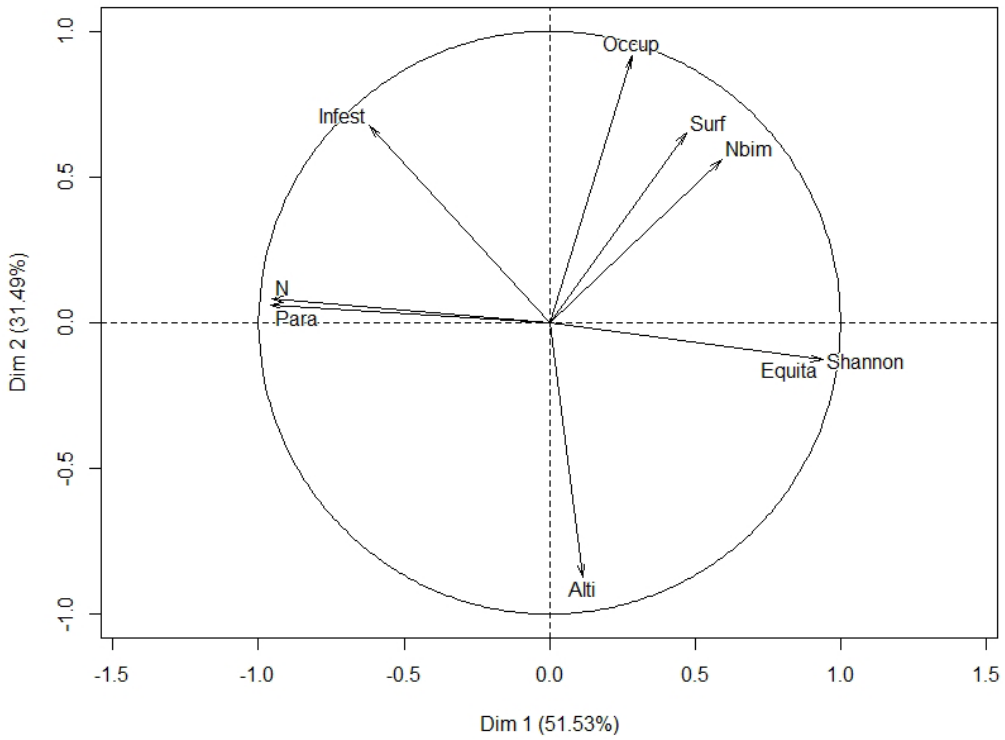


Figure 11 : Représentation des axes 1 et 2 de l'analyse en composantes principales des variables quantitatives de l'étude

Discussion

L'hypothèse initiale selon laquelle le taux de parasitisme permettrait d'expliquer les différences observées de l'infestation des parcelles est infirmée par les résultats obtenus. Néanmoins des différences significatives concernant la population de mineuse et les cortèges de parasitoïdes présents en fonction des différentes parcelles ont été mises en évidence.

1. Estimation de la population de mineuse à un instant t

L'étude conjointe de l'infestation et de l'occupation des mines qui a été réalisée peut renseigner sur la population du ravageur à un instant t et donc sur la quantité de mineuses présentes sur la parcelle à cette période. L'infestation correspond à un pourcentage de feuilles minées et l'occupation à un pourcentage de mines occupées. Ajouté à ces deux estimations, la pression en mineuse correspond à une quantité de larves vivantes pour 100 feuilles minées.

Ainsi, le peuplement de la parcelle C ayant des taux d'infestation et d'occupation quasi similaires et proches de 50% peut être le signe d'une population grandissante avec une quantité importante de mineuses dans la parcelle estimée par la pression de 217 larves pour 100 feuilles. Les données des parcelles B et D permettent également d'estimer correctement ces paramètres. En effet, leurs taux d'infestation et d'occupation sont assez similaires (25% et 11% pour la parcelle B et 18% et 7% pour la parcelle D) et peuvent montrer une quantité faible de mineuses au moment des observations. Il semble que la quantité de mineuses soit plus forte en B qu'en C et c'est ce qui est démontré par les estimations de la pression avec respectivement 96 et 51 larves vivantes pour 100 feuilles. L'estimation de la population de la parcelle E semble adéquate avec une infestation de 0,5%, une occupation de 4% et une pression en mineuse de seulement 2 larves vivantes pour 100 feuilles.

Cependant sur la parcelle A, une forte infestation conjointe à une faible occupation pourrait être interprétée comme une population décroissante (71,4% pour 7%) mais une pression de 187 larves pour 100 feuilles montre que l'incidence de la mineuse reste relativement forte.

2. Une répartition du cortège parasitaire très hétérogène

Au niveau des cortèges de parasitoïdes, la répartition des morphotypes récoltés est très hétérogène entre les cinq sites. Si l'on prend en compte les identifications préliminaires des spécialistes, cinq genres différents ont été identifiés pour les six morphotypes. Au niveau du cortège global, si l'on se base sur les indices de diversité estimés, un indice de Shannon de 0,48 peut signifier qu'une des espèces domine les autres dans l'environnement. Couplé à une équitabilité de 0,39, cela montre un peuplement contrasté. Aux vues des résultats, le M4 (Identifié comme Mirax sp) est le morphotype le plus largement représenté avec environ 88,3% des individus collectés.

Au niveau parcellaire, la parcelle C peut permettre de montrer un peuplement jeune ou en développement. Aussi un indice 0,77 montre un cortège codominant où les espèces ont quasiment la même abondance. De plus, une équitabilité 0,64 montre un peuplement presque plat (où le tirage des espèces est équiprobable). Beaucoup de larves sont présentes dans les feuilles, mais le nombre de parasitoïdes récoltés est faible (M1, M2 et M3 pour 16 individus

et un taux de parasitisme de 1,89%). Cette tendance est encore plus accentuée pour la parcelle B où pour les huit individus récoltés, il a été estimé des indice de Shannon et d'équitabilité très forts (1,21 et 1) et un taux de parasitisme encore plus faible de 1,01%. Les résultats de la parcelle A sont différents et peuvent représenter un peuplement vieux ou une population plus mature ou structurée (Indices proche de 0). Un grand nombre de parasitoïdes sont présents (M1, M2 et M4 pour un total de 216 individus) pour un taux de parasitisme également fort (41,3%).

Il est nécessaire de contraster ces résultats car sur les 5 sites, les morphotypes ont été récoltés sur seulement trois d'entre eux ce qui réduit considérablement les comparaisons possibles entre les sites et la force de l'interprétation. Aussi, l'impact réel de ces morphotypes dans cette régulation est difficile à estimer. Cependant, l'observation de ces espèces permet de réaliser un premier état des lieux quantà la diversité du cortège parasitaire de la mineuse et est en accord avec la prédiction de Mr. Gallardo-Covas de Porto Rico. Sur la liste des parasitoïdes attendus avec les quatre espèces, *Mirax insularis*, *Zagrammosoma multilineata, Chrysocharis livida* et *Horismenus sp*, seul *Chrysocharis livida* n'a pas été recensé lors de l'étude (le genre *Zagrammosoma* étant en synonymie avec *Cirrospilus*). Cette richesse spécifique est relativement faible (S = 5) et de manière générale sous-estime la diversité possible présente au niveau local qui pourrait réellement participer à la régulation de la mineuse (Peet, 1975).

La parcelle A est caractérisée par une forte population de mineuses mais qui semble assez bien régulée (Occupation faible des mines et taux de parasitisme élevé) au contraire de la parcelle C où la population de mineuses est encore plus forte et très peu régulée. Il est donc possible que le genre *Mirax sp* (212 individus émergés des feuilles de la parcelle A) soit le principal agent de contrôle de la mineuse en Martinique et il n'est donc pas étonnant que ce genre soit le plus étudié dans le cadre de stratégie de lutte de *L. coffeella* aux Antilles (Daza, 2013 ; Gallardo-Covas, 1992 ; 2006 ; Muesebeck, 1937).

Cependant, il est intéressant de se demander pourquoi l'émergence des individus de *Mirax sp* a uniquement été identifiée dans la parcelle A. Elle pourrait être fonction de la quantité de mineuse présente sur la parcelle ce qui peut correspondre à une densité de ressources plus importante et plus équilibrée dans le temps, mais ne correspondrait pas avec les estimations de la parcelle C. Il serait plus probable que la dispersion dans l'environnement de *Mirax sp*. soit liée à sa dynamique de population celle de la mineuses (Gallardo-Covas, 2006). Dans ce cas, il semble que les cycles de la mineuse entre les parcelles A et C aient été différents lors de l'étude et des prélèvements à d'autres périodes de l'années (notamment plus répétés entre juin et octobre) devraient permettre de préciser la présence du parasitoïde qur un plus grand nombre de parcelles cultivées en café.

3. Autres moyens de contrôles naturels de la mineuse

Le parasitisme n'est pas l'unique moyen de contrôle naturel de la mineuse car plusieurs formes de prédation ont été référencées comme des guêpes polistes ou des fourmis (Lomeli-Flores *et al*., 2009 ; Constantino *et al*., 2018). Localement, bien qu'il existe une guêpe prédatrice de chenilles (*Polistes dominicus* Vallot, 1802) son action de prédation sur la mineuse reste à vérifier. Aucun spécimen de cette espèce n'a été observé dans les caféières prospectées. Par ailleurs, J. Refugio Loméli-Flores présente dans sa thèse de plusieurs espèces de fourmis (*Nesomyrmex sp* et *Pseudomyrmex sp*) à la base du contrôle naturel du

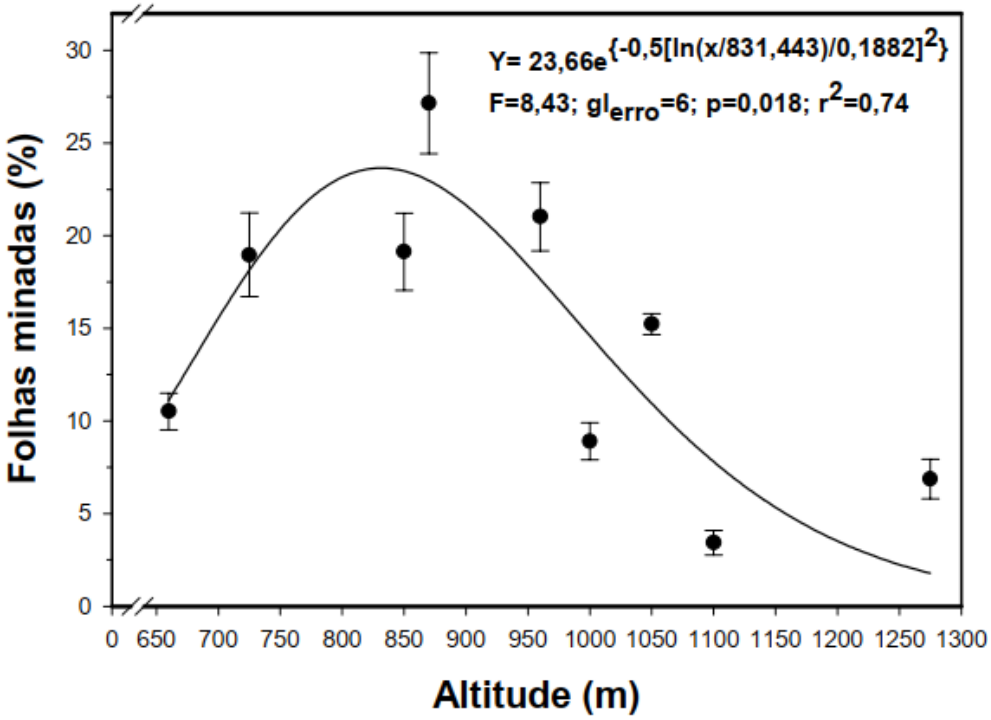


Figure 12 : Représentation graphique du pourcentage de feuilles minées en fonction de l'altitude (Tuelher et al., 2003)

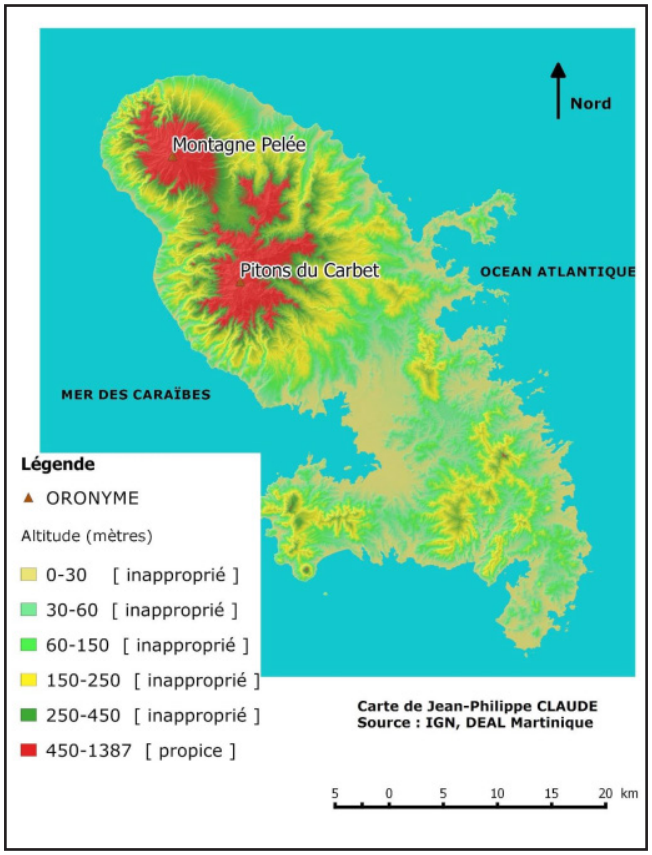


Figure 13 : Zonage altitudinal pour la reprise du café en Martinique (Claude, 2015)

ravageur dans les petites Antilles (Lomeli-Flores, 2007a ; Liebherr, 1988). Il est donc tout à fait possible que des espèces locales de fourmis puissent contrôler la mineuse, ce qui s'ajoute à la réflexion d'une stratégie de lutte intégrée pour ce ravageur et qui nécessite donc de poursuivre l'étude en incluant des paramètres de prédations possibles.

Cependant, le contrôle actuel de la mineuse sur les parcelles de café par les auxiliaires ne semble pas suffisant pour réguler les populations et il est possible qu'il existe une corrélation négative entre parasitisme et prédation pour ce ravageur. En effet, une étude de R. Reis du début des années 2000 au Brésil met en avant la possibilité que la prédation ait une influence négative sur le parasitisme ce qui résulte d'un contrôle très peu efficace du ravageur. Les prédateurs consomment les chenilles qu'elles soient parasités ou non ce qui empêche le développement des populations de parasitoïdes (Reis Jr *et al*., 2000).

4. Facteurs abiotiques de régulation des populations de mineuses

Excepté le contrôle par les auxiliaires, plusieurs autres éléments peuvent nuire au bon développement de *L. coffeella*. De manière générale, l'altitude, la pluviométrie et la température semblent les paramètres les plus référencés (Lomelí-Flores *et al*., 2010 ; Nestel *et al*., 1994). Il en ressort que la mineuse est beaucoup moins abondante à partir de 900m (Figure 12 ci-contre) où les fortes pluies (plus abondantes dans les hauteurs en région tropicales) sont responsables d'environ 39% de la mortalité larvaire (Pereira *et al*., 2007). La température apparait également comme déterminante pour le développement optimal du ravageur dans un intervalle compris entre 20 et 24°C (Tuelher *et al*., 2003).

Or, il est intéressant de comparer ces résultats avec les rapports d'expertise réalisés en 2014 et 2015 sur les potentialités de reprise et de développement de la filière café en Martinique par respectivement le CIRAD et un master en géographie. Les approches différentes des agronomes et des géographes dans ces expertises permettent de montrer la difficulté d'apporter une réponse précise sur le sujet. Le CIRAD publie en 2014 un rapport sur l'analyse des milieux propices à la culture du café selon des exigences pédoclimatiques (sols bruns et/ou andosols qui montrent une profondeur supérieure à 90 cm sans présence d'obstacle au développement du système racinaire des caféiers). Dans ce rapport, ils identifient environ 115 hectares de surfaces réparties entre 3 communes et présentant des sols propices à la culture du café (Descroix, 2014). A l'inverse, dans sa conclusion, Jean-Philippe Claude (Master en géographie à l'université des Antilles) appuie le fait que la reprise de la filière parait compromise car il n'existe pas sur l'île de milieu propice à la culture du café respectant les exigences écoclimatiques (Claude, 2015). Ces milieux propices sont principalement fonctions de l'altitude, la température et des précipitations comme pour la mineuse (respectivement au-dessus de 500m, de 16° à 25°C, et à partir de 1200 mm de précipitation annuelle, Figure 13).

De plus, il semble que l'ombrage soit un élément essentiel au bon développement de la culture (Beer, 1987), et que les caféiers cultivés sous ombrages présentent une appétence moins forte à la mineuse que ceux cultivés en plein soleil (Lomelí-Flores *et al*., 2010 ; Nestel *et al*., 1994). Par rapport aux pressions estimées sur les parcelles, A et C (respectivement 187 et 217 larves/100feuilles) présentent un environnement ouvert causant un ensoleillement quasi permanent des surfaces cultivées. A contrario, les parcelles B, D et E (respectivement 96, 51 et 2 larves/100 feuilles) sont protégées par un environnement plus forestier permettant alors un ombrage plus fréquent des caféiers. L'environnement parcellaire pourrait donc jouer

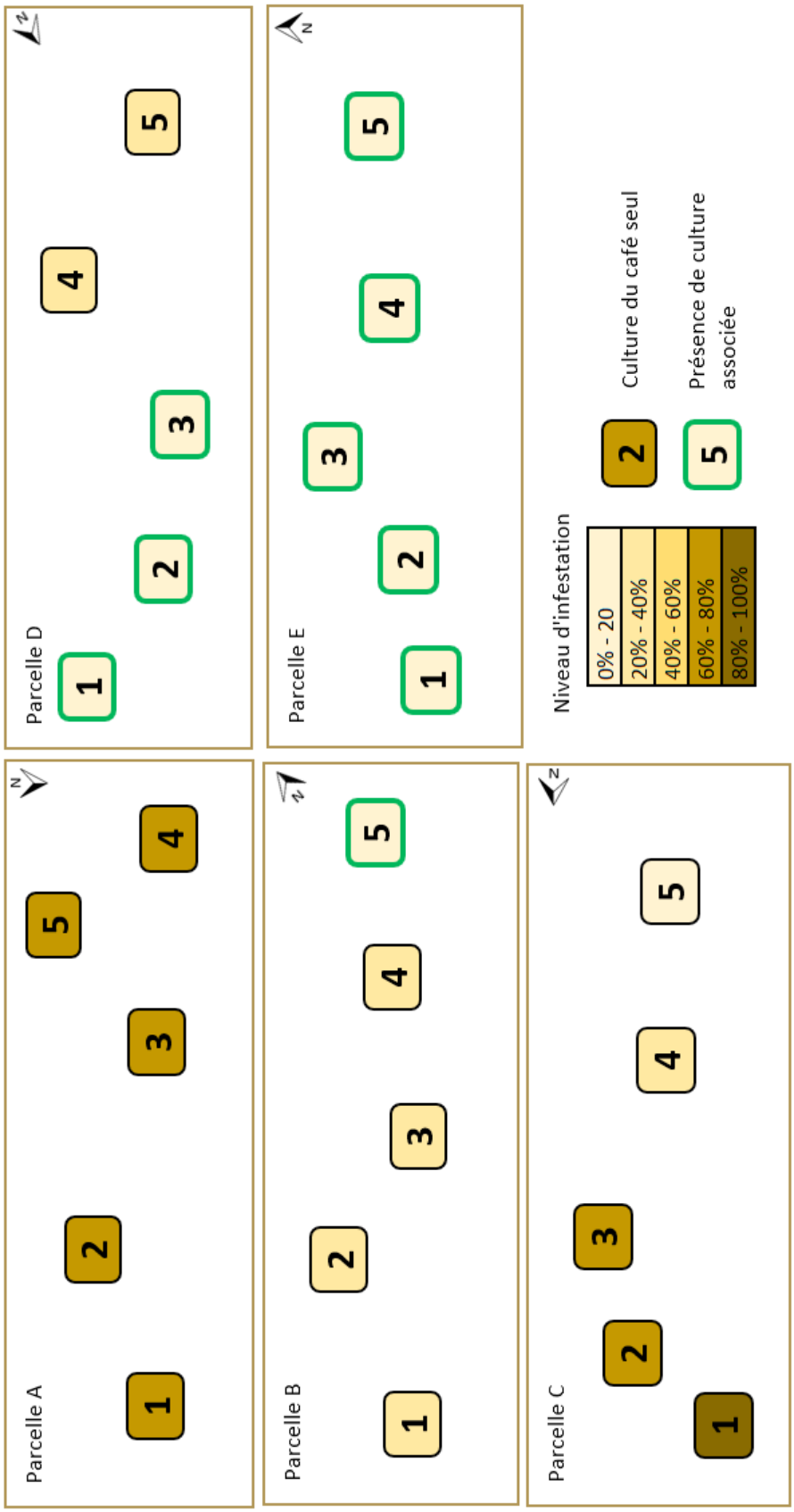


Figure 14 : Schéma représentant la localisation des différents patchs au sein des parcelles selon leurs associations culturales

un rôle dans l'incidence de la pression en mineuse. Par conséquent, une étude plus poussée pourrait permettre d'augmenter les connaissances sur le sujet.
Si l'on ajoute à cela les différences de conduite culturales des agriculteurs, il apparaît que l'augmentation de la diversité intra parcellaire pourrait être un paramètre explicatif de l'infestation (Amaral *et al*., 2010). La Figure 14 ci-contre montre la localisation des différents patchs au sein des 5 parcelles étudiées. On remarque que les patchs contenant plus de diversité (grâce à des associations culturales) sont moins infestés que ceux constitués uniquement de cafés. Ces tendances sont actuellement plus de l'ordre de l'hypothèse et il aurait été pertinent de répéter le protocole expérimental à différentes moments de l'année afin de pouvoir obtenir une vision plus globale de la dynamique de population des mineuses et des paramètres qui l'influencent.

Enfin aucun des caféiers n'a encore été taillé et l'on observe une grande hétérogénéité au niveau de la croissance des arbres (de 80cm à plus de 2m de haut). La taille des cafés (comme l'ombrage) est un paramètre fondamental au développement de la plante. Elle permet l'entrée de lumière au centre du feuillage grâce à l'ouverture de la canopée ce qui augmente significativement la photosynthèse et la résistance de la plante à d'éventuelles attaques de bioagresseurs. L'augmentation du nombre de feuilles sur un arbre non taillé permet un accroissement très fort de la quantité de ressources disponibles potentiellement favorables pour le ravageur (Beer, 1987 ; Götsch, 1994 ; FAO, 2007 ; Kimani *et al*., 2002).

5. Limites de l'étude et possibilités d'augmentation des connaissances

La principale limite de cette étude est le caractère photographique de celle-ci. En effet, elle a été réalisée à une seule période de l'année et n'a pas été répétée ce qui permet d'être critique sur les résultats collectés. Ces résultats montrent la nécessité de continuer le travail démarré en répétant les estimations et les collectes à d'autres périodes de l'année dans le but d'observer de manière plus linéaire la dynamique de population de la mineuse mais également du cortège parasitaire. La précision de l'identification des espèces de ce cortège est importante car elle permet d'obtenir une idée plus globale de la richesse spécifique des parasitoïdes dans l'environnement et est nécessaire dans le cadre d'un développement d'une stratégie de protection des plantes.

Au niveau du protocole d'étude, l'utilisation de différents types de boîtes d'élevages a pu être un facteur ne permettant pas le bon développement des parasitoïdes dans toutes les parcelles. En effet, les boites de type II (boites à usage alimentaire) utilisées pour les parcelles C, D et E étaient plus hermétique que les boites de type I (boites de pétri). Il a été observé le développement de champignons dans ces boites en fin d'expérimentation ce qui a pu causer un biais de protocole. L'émergence d'imagos de parasitoïdes et de mineuses pour la parcelle C a permis cependant de considérer ce paramètre comme négligeable. Dans cette étude, il est difficile de mesurer l'impact réel des espèces de parasitoïdes collectés sur la mineuse. Par exemple, aucun parasitoïde n'a émergé des feuilles mises en élevage des parcelles D et E qui ont une pression relativement faible (respectivement de 51 et 2 larves/100 feuilles) ce qui pourrait correspondre à un contrôle naturel très efficace de la mineuse. De plus, ces parcelles présentent une diversité végétale plus grande et un ombrage plus important des plants de café mais l'image obtenue par l'étude ne peut pas le montrer compte tenu de l'hypothèse initiale. De plus, l'étude se base uniquement sur cinq sites mis en place il y a trois ans ce qui peut apporter un biais de temporalité fort. La reprise très récente de la culture du café peut montrer des populations de ravageurs et d'auxiliaires qui ne sont pas encore équilibrés ce qui

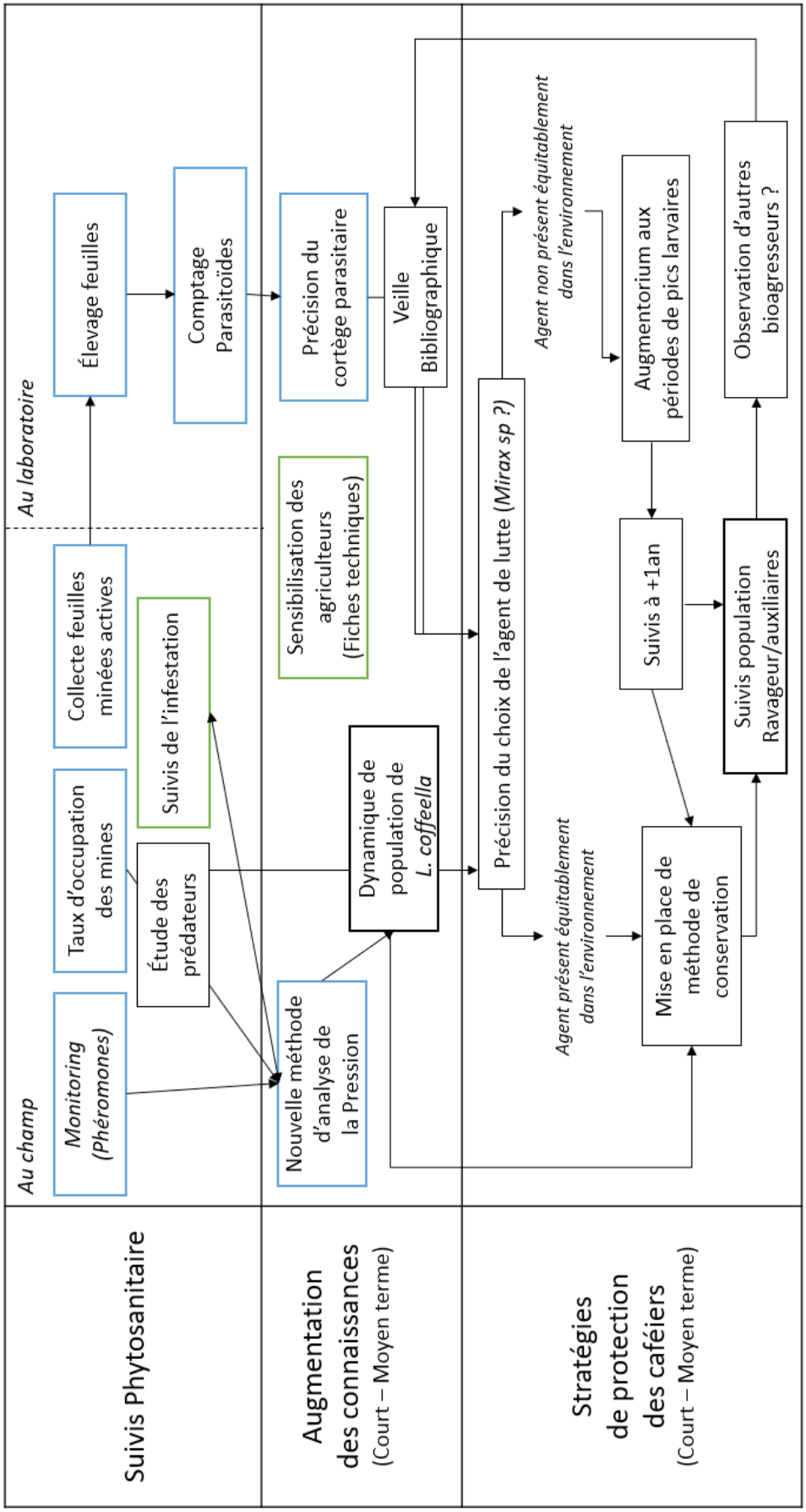


Figure 15 (1) : Organigramme de la poursuite d'étude sur *L. coffeella* et des stratégies possibles de protection de cultures

complexifie encore l'interprétation des résultats.

On peut ajouter à cela la faiblesse de certains paramètres estimés pendant l'étude comme l'infestation des parcelles qui rend compte uniquement du nombre de feuilles minées. En effet, la sénescence des feuilles du café étant faible (feuilles rigides), les mines présentes peuvent être le reliquat d'anciennes générations de mineuse et donc peu représentatives du taux d'infestation actuel. L'estimation de la pression en mineuse est plus représentative mais nécessite l'élevage de feuilles afin d'obtenir une quantité effective de mineuses par feuille. Il apparait donc nécessaire de mettre au point une méthode d'analyse de l'incidence de la mineuse au champ afin de l'utiliser en routine dans l'observation de la dynamique de population du papillon.

6. Recommandations pour favoriser le contrôles biologiques de la mineuse

Aujourd'hui, il apparait donc assez clairement que la mise en place de stratégies en protection des plantes sont nécessaires pour la lutte contre la mineuse du café sur les parcelles actuelles et pour le bon développement de parcelles futures.

Dans un premier temps, il est évident de la nécessité d'un suivis phytosanitaire des cultures. Celui-ci pourra permettre non seulement une connaissance approfondie des ravageurs du café (ce qui peut amener à des formations auprès des agriculteurs comme la fiche techniques Bioagresseurs réalisée dans le cadre du stage disponible en Annexe 4) mais également une compréhension plus forte de la dynamique de population de la mineuse en Martinique. Par exemple, la comparaison entre cette étude et le rapport d'expertise de la Fredon en 2018 est le premier indice d'une dynamique de population du ravageur puisque les résultats obtenus pour la parcelle A étaient très similaires (Infestation et Occupation des mines). De plus, plusieurs auteurs parlent des pics d'infestation de la mineuse entre juin et octobre dans la région Amérique Centrale – Amérique du Sud (Nestel *et al*., 1994 ; Oliveira *et al*., 2001) et il serait tout à fait pertinent d'étudier plus précisément ces pics localement au vue de la problématique du ravageur en Martinique.

Comme il a été mentionné plus haut, il est nécessaire de développer une méthode d'analyse rapide du taux d'infestation des parcelles par la mineuse. A cet effet, il est possible de mettre en place une stratégie de monitoring des populations à l'aide de piégeage phéromone. La molécule en question est connue depuis le début des années 2000 mais a récemment été synthétisée par une nouvelle méthode moins couteuse et plus rapide (Doan *et al*., 2007). Dans la bibliographie, plusieurs études ont montré l'efficacité de cette méthode de monitoring et les paramètres essentiels pour un optimum d'utilisation comme le nombre de pièges et la distance minimale entre les pièges (Bacca *et al*., 2006 ; Lima, 2001 ; Deguine *et al*., 2011). L'étude des quantités d'imagos en vol à un instant t pourrait apporter une précision supplémentaire et permettre une meilleure estimation du taux d'infestation. De plus, couplées à l'étude au champ du taux d'occupation des mines, ces deux paramètres pourraient être mis en place dans un protocole de routine pour le suivis phytosanitaire des parcelles.

La connaissance de la dynamique locale de population de la mineuse permet, comme il a été dit précédemment, de positionner les cycles de développement du ravageur en fonction de la phénologie du café (et de dénombrer le nombre de générations possibles à l'année) ce qui est la base du déploiement d'une stratégie de lutte intégrée pour un bioagresseur. En effet, plusieurs stratégies de luttes sont envisageables.

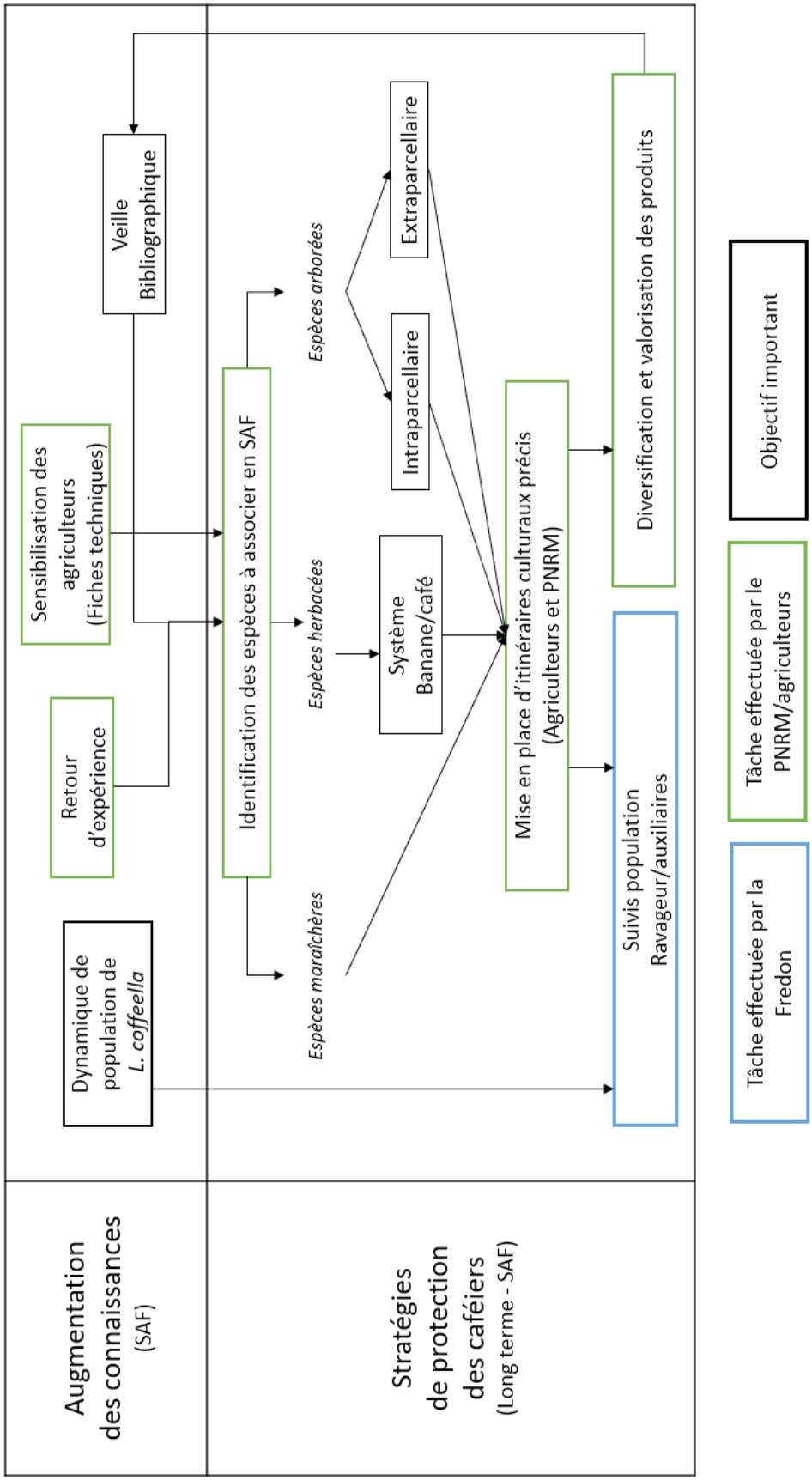


Figure 15 (2) : Organigramme de la poursuite d'étude sur *L. coffeella* et des stratégies possibles de protection de cultures

Une méthode possible de lutte contre la mineuse consiste à développer une stratégie de lutte biologique par augmentorium. Celle-ci propose le déplacement de populations de parasitoïdes entre les différentes parcelles, comme il a été possible de mettre en place à Hawaï ou à la Réunion contre la mouche des fruits notamment (Deguine *et al*., 2011 ; Klungness *et al*., 2005 ; Vacante, Kreiter, 2017). Cette stratégie se baserait sur le déplacement de populations de parasitoïdes (en l'occurrence d'un certain nombre de feuilles minées actives contenant des larves parasitées) d'une parcelle vers une autre afin de disperser plus efficacement une espèce particulière.

Comme il a été mentionné plus haut, il est possible que les spécimens du genre *Mirax* soient responsables du plus fort taux de régulation des mineuses. Si l'étude de la répartition de ce genre dans l'environnement montre effectivement qu'elle est très inégale, il pourrait être intéressant de réfléchir dans un premier temps à l'inoculation des Mirax depuis la parcelle A vers les autres parcelles. Un suivi annuel des populations permettrait de vérifier l'établissement de l'espèce localement et également d'étudier l'impact plus équiprobable sur la mineuse. Dans un deuxième temps, une stratégie d'augmentation du parasitoïde pourrait être mis en place afin d'augmenter périodiquement les populations dans le but d'une diminution plus efficace des mineuses. L'étude des dynamiques de population des mineuses et des parasitoïdes tout au long de l'année pourra permettre de positionner plus efficacement ce genre de méthode en déplaçant les feuilles par exemple au milieu d'un cycle de mineuse ce qui correspond à la plus grande quantité de larves dans le parenchyme des feuilles. Si l'espèce *M. insularis* a été très étudiée pour son contrôle efficace de la mineuse dans les Antilles (Gallardo-Covas, 1988 ; 1992 ; 2006 ; Daza, 2013), il est pertinent de pouvoir mettre en place une stratégie d'augmentorium dans les caféières martiniquaises.

Enfin, dans une réflexion à plus long terme, la transformation des parcelles actuelles de café en systèmes agroforestiers peut être envisagée comme un objectif permettant non seulement de réduire les dommages sur la culture par la mineuse mais également d'augmenter le rendement global de manière significative (Amaral *et al*., 2010 ; Cerda, 2017 ; Fernandes, 2013). Les travaux concernant la gestion des caféières en agroforesteries sont nombreux et de manière générale, l'utilisation du café comme élément principal de la strate basse arbustive du système est largement étudié notamment au Brésil ou en Amérique Centrale (Steenbock, Machado Vezzani, 2013 ; Götsch, 1995). Le café est une culture qui se développe beaucoup mieux quand il est cultivé sous ombrage. Même s'il avait été préconisé aux agriculteurs la plantation de cultures d'inter-rangs pouvant permettre un ombrage sur les caféiers, cette mesure n'a pas été mise en place car l'implantation d'un système agroforestier demande un investissement fort et requiert la plantation de plantes ne permettant pas forcément de sortie financière directe.

Le système banane/café est une alternative envisageable car permet d'obtenir les avantages de la culture du café sous ombrage en plus d'une rente plus fréquente grâce aux bananes (Wairegi, van Asten, 2014). De plus, la banane est aujourd'hui la culture majeure de la Martinique avec la canne à sucre et les développement agronomiques sur les itinéraires technique de ces cultures sont très nombreux. De ce fait, il est tout à fait possible qu'une association avec le café puisse être valorisée sur les deux cultures (EcophytoPIC, 2018).

Dans le but d'apporter plus de clarté à l'ensemble des possibilités de poursuite d'étude pour *L. coffeella* et son cortège parasitaire, et la mise en place d'une stratégie efficace de protection des caféiers, il a été réalisé la figure 15 (1 et 2) ci-contre.

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence l'existence d'un contrôle biologique de la mineuse du café en Martinique par différentes guêpes parasitoïdes, et non que les niveaux de parasitisme permettent d'expliquer le niveau d'infestations par la mineuse des caféières observées. En effet, les résultats de l'étude focalisée sur le taux de parasitisme comme facteur explicatif de l'infestation ne sont pas significatifs car ne prennent pas en compte plusieurs autres paramètres qui ont été mis en évidence lors de l'étude. La précision des espèces du cortège parasitaire et les interactions entre elles, l'étude des interactions entre la phénologie du café et la biologie du ravageur ou l'étude plus approfondie des environnements parcellaires… La complexité des processus en œuvre expliquant l'incidence de la mineuse, *L. coffeella* sur les parcelles de café en Martinique est donc plus importante.

Néanmoins, cette étude met en évidence des différences significatives entre les cortèges de parasitoïdes de ce ravageur des différents sites étudiés. Ces différences ont vraisemblablement un impact direct sur l'efficacité du contrôle biologique de la mineuse entre les différentes plantations mais ne permettent pas d'expliquer qu'aucun parasitoïde n'a été trouvé dans les 2 parcelles les moins impactées par la mineuse. Il est alors possible qu'un niveau supplémentaire de complexité intervienne dans le contrôle du ravageur comme l'augmentation de la diversité végétale au sein des parcelles (Amaral *et al*., 2010). En effet, ces deux parcelles sont les plus proches de l'objectif de transformation en agroforesterie des caféières. L'association avec des espèces natives pouvant attirer les auxiliaires (*Inga ingoides*), d'espèces à mycorhization, d'espèces d'ombrage (*Musa sp*, *Albizia saman* ou *Artocarpus altilis*) permet la réalisation de services écosystémiques qui pourraient déplacer la problématique de gestion intégrée des parcelles que ce soit en lutte parasitaire mais également en termes de fertilisation. Il est de ce fait très intéressant de suivre l'avancement de ce projet afin d'affiner les stratégies de protection des cultures.

Le suivis phytosanitaire des parcelles est donc un point essentiel de la poursuite du travail et permettra non seulement de mieux comprendre les interactions ravageurs/auxiliaires au sein des parcelles étudiées mais également de préconiser des actions bénéfiques pour l'implantation de nouvelles parcelles de café sur l'île. Ce suivi permet de mettre en place un protocole de routine afin d'observer plus efficacement les populations de mineuses.

Aussi, avec la détermination de la dynamique de population de la mineuse, un autre objectif majeur doit être atteint et concerne le cortège parasitaire. En effet, la présence en grand nombre d'un parasitoïde du genre *Mirax sp*. (Braconidae) sur une des caféières étudiées alors qu'il est complètement absent des autres interpelle et met en évidence la nécessité de préciser les résultats obtenus. En 2013, *M. insularis* a été nommé comme l'espèce de parasitoïde la plus adéquate en tant qu'agent de lutte contre la mineuse du café (Daza, 2013) dans les Antilles. Dans cette étude, Marcela Daza et Fernando Gallardo-Covas montrent l'ensemble des étapes nécessaires au développement d'une stratégie de lutte avec l'utilisation d'un parasitoïde et plus particulièrement les caractéristiques reproductives de l'agent en interaction avec son hôte. Si l'avancement des connaissances au niveau local valide l'identification et l'utilisation du braconidé comme agent de lutte contre la mineuse, il sera nécessaire de préciser si ces caractéristiques sont bien les même entre Porto Rico et la Martinique avant réellement mettre en place une stratégie d'augmentation du parasitoïde.

La collaboration des différents acteurs du projet (PNRM, agriculteurs, Fredon) est une

composante majeure de la réussite de la protection contre la mineuse. De plus, la coopération avec des spécialistes étrangers (Mr Gallardo-Covas par exemple) est envisageable afin de profiter de leurs retours d'expériences sur le sujet et de leurs connaissances sur les interactions entre *L. coffeella* et *M. insularis*.

Cette étude met en évidence de nouvelles problématiques auxquelles il pourra être pertinent de répondre pour une meilleure compréhension du système tritrophique plante/ravageur/auxiliaire. L'étude de la mineuse du café et de ses auxiliaires est un des axes de réflexions mais le café est une plante qui peut être attaquée par un grand nombre de bioagresseurs différents. En effet, la présence sur l'île du scolyte du caféier, *Hypothenemus hampei* (Ferrari, 1867), a déjà été signalée. Les premières périodes de récoltes approchant (phase critique des dégâts causés par le coléoptère) la réflexion d'une stratégie de lutte a été engagée entre le PNRM et la FREDON. Le suivi des populations de ce nouveau ravageur et l'étude de ses auxiliaires potentiels fait également partie de la gestion intégrée des parcelles de café. Également, la surveillance des parcelles permet d'identifier plus précisément l'arrivée d'un bioagresseur comme par exemple la rouille du caféier *Hemileia vastatrix* actuellement absente du territoire (mais présente en Guadeloupe).

Enfin, dans un contexte de changement climatique, il est probable que ces interactions (Café/bioagresseurs/auxiliaires) soient amenées à être modifiées et il faudra alors prendre en compte ces changements afin d'adapter les stratégies de plantations de nouvelles parcelles ainsi que pour permettre une meilleure gestion de la protection des caféiers.

Bibliographie

AMARAL, Dany S, VENZON, Madelaine, PALLINI, Angelo, LIMA, Paulo C et DESOUZA, Og, 2010. A diversificação da vegetação reduz o ataque do bicho-mineiro-do-cafeeiro Leucoptera coffeella (Guérin-mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae)? In : Neotropical Entomology. août 2010. Vol. 39, n° 4, p. 543-548. DOI 10.1590/S1519-566X2010000400012.

BACCA, T., LIMA, E.R., PICANCO, M.C., GUEDES, R.N.C. et VIANA, J.H.M., 2006. Optimum spacing of pheromone traps for monitoring the coffee leaf miner Leucoptera coffeella. In : Entomologia Experimentalis et Applicata. avril 2006. Vol. 119, n° 1, p. 39-45. DOI 10.1111/j.1570-7458.2006.00389.x.

BEER, John, 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. In : Agroforestry Systems. 1987. Vol. 5, n° 1, p. 3-13. DOI 10.1007/BF00046410.

BOUHARMONT, P, 1998. Fertilisation du caféier Arabica au Cameroun. In : . 1998. p. 106.

BRADLEY, J. D., 1958. Taxonomic Notes on Leucoptera meyricki Ghesquiere and Leucoptera coffeella (Guerin-Meneville) (Lepidoptera, Lyonetiidae). In : Bulletin of Entomological Research. septembre 1958. Vol. 49, n° 3, p. 417-419. DOI 10.1017/S0007485300053736.

CERDA, Rolando, 2017. Assessment of yield and economic losses caused by pests and diseases in a range of management strategies and production situations in coffee agroecosystems. phdthesis. S.l. : Montpellier SupAgro.

CLAUDE, Jean-Philippe, 2015. Analyses et spatialisation des milieux propres aux espèces de genre Coffea en Martinique : cas du Coffea arabica var. typica. In : Université des Antilles, Académie de la Martinique. 2015. p. 133.

CLAUDE, Jean-Philippe, 2016. Écologie et chorologie des espèces de genre Coffea (Rubiaceae) en Martinique : le cas du Coffea arabica variété Typica. S.l. : Editions Publibook. ISBN 978-2-7539-0453-8.

CONSTANTINO, Luis Miguel, GIL, Zulma Nancy et BENAVIDES, Pablo, 2018. Enemigos naturales del minador de la hoja del café. In : . 2018.

COOPÉRATIVE BOURBON POINTU, 2010. Bourbon pointu « Grand cru » coffee producers. La Réunion.

DAVID-RUEDA, Gonzalo, 2015. Diagnóstico de Leucoptera coffeella (Lepidoptera: Lyonetiidae) y sus parasitoides en el departamento de Antioquia, Colombia. In : . 2015. p. 9.

DAZA, Marcela, 2013. Capacidad reproductiva de Mirax insularis – Muesebeck (1937) (Hymenoptera: Braconidae) sobre larvas del minador del café, Leucoptera coffeella – Guérin-Méneville & Perrottet (1842) (Lepidoptera: Lyonetiidae)1,2. In : . 2013. p. 18.

DEGUINE, Jean-Philippe, ATIAMA-NURBEL, Toulassi et QUILICI, Serge, 2011. Net choice is key to the augmentorium technique of fruit fly sequestration and parasitoid release. In : Crop Protection. février 2011. Vol. 30, n° 2, p. 198-202. DOI 10.1016/j.cropro.2010.10.007.

DESCROIX, Frédéric, 2014. Mission d'expertise pour étude et propositions pour la mise en œuvre de programmes visant à terme la relance des filières caféicole arabica typica1 pour des produits d'excellence en martinique. rapport de mission. Martinique.

DOAN, Nhuan, LE, Thach, NGUYEN, Hao, HANSEN, Poul et DUUS, Fritz, 2007. Ultrasound Assisted Synthesis of 5,9-Dimethylpentadecane and 5,9-Dimethylhexadecane – the Sex Pheromones of Leucoptera coffeella. In : Molecules. 28 août 2007. Vol. 12, n° 8, p. 2080-2088. DOI 10.3390/12082080.

FERNANDES, Lêda Gonçalves, 2013. Diversidade de inimigos naturais de pragas do cafeeiro em diferentes sistemas de cultivo. In : . 2013. p. 202.

FREDON, Martinique, 2018. Rapport d'expertise sur la présence du ravageur Leucoptera coffeella sur les parcelles de café en Martinique. S.l.

GALLARDO-COVAS, Fernando, 1988. Faunal survey of the coffee leaf miner, Leucoptera coffeella, parasitoids in Puerto Rico. In : Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. 1988. Vol. 72, n° 2.

GALLARDO-COVAS, Fernando, 1992. Augmentation of Mirax insularis Muesebeck. Alternative for population control of the coffee leaf miner, Leucoptera coffeella Guérin-Ménéville, in Puerto Rico. In : Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. 1992. Vol. 76, n° 2, p. 43-54.

GALLARDO-COVAS, Fernando, 2006. Population dynamics of the exotic coffee leaf miner larvae parasitoid, Mirax insularis Muesebeck, in a sunlight coffee plantation of Puerto Rico. In : Caribbean Food Crops Society. 2006. Vol. 42, p. 8.

GALLARDO-COVAS, Fernando, 2017. Biological control of insect pests in Puerto Rico. In : Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico. 2017. Vol. 101, p. 153-163.

GALLO, Domingos, NAKANO, Octavio et SILVEIRA NETO, Sinval, 2002. Entomologia agricola. ESALQ. S.l. : s.n.

GÖTSCH, Ernst, 1994. Break-through in agriculture. In : . 1994. p. 15.

GÖTSCH, Ernst, 1995. Homem e Natureza Cultura na Agricultura. In : . 1995. p. 12.

GREEN, D. S., 1984. A Proposed Origin of the Coffee Leaf-miner, Leucoptera coffeella (Guerin-Meneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae). In : Bulletin of the Entomological Society of America. 1 mars 1984. Vol. 30, n° 1, p. 30-31. DOI 10.1093/besa/30.1.30.

GUÉRIN-MÉNEVILLE, Félix-Edouard et PERROTTET, Samuel, 1842. Mémoire sur un insecte et un champignon qui ravagent les cafiers aux Antilles. S.l. : Mme Ve Bouchard-Huzard.

HARDY, Marie, 2012. Le déclin du café à la Martinique au XIX siècle. In : Bulletin de la Société d'Histoire de la Guadeloupe. 2012. n° 161-162, p. 103. DOI 10.7202/1036812ar.

KIMANI, Martin, LITTLE, Tony et VOS, Janny G M, 2002. Introduction to Coffee Management through Discovery Learning. In : Farmer Participatory Training and Research Specialists. 2002. p. 35.

KISSAYI, Khadija, BENHALIMA, Souâd et DOUAIK, Ahmed, 2017. Diversité des Encyrtinae (Hymenoptera: Chalcidoidea, Encyrtidae) collectés par pièges Malaise au sein de la forêt de la Maâmora au Maroc. In : . 2017. p. 45-49.

KLUNGNESS, Lm, JANG, Eric B, MAU, Ronald FL, VARGAS, Roger I, SUGANO, Jari S et FUJITANI, Earl, 2005. New sanitation techniques for controlling tephritid fruit flies (Diptera: tephritidae) in Hawaii. In : Journal of Applied Sciences and Environmental Management [en ligne]. 11 novembre 2005. Vol. 9, n° 2. [Consulté le 29 juillet 2019]. DOI 10.4314/jasem.v9i2.17284. Disponible à l'adresse : http://www.ajol.info/index.php/jasem/article/view/17284.

LECOMTE, 1869. Le capitaine de Clieu ou le premier pied de café aux Antilles. S.l. : s.n.

LIEBHERR, James K., 1988. Zoogeography of Caribbean Insects. S.l. : Cornell University Press. ISBN 978-1-5017-4601-7.

LIMA, Eraldo Rodrigues De, 2001. Feromônio sexual do bicho-mineiro do café, leucoptera coffeella: avaliação para uso em programas de manejo integrado. In : . 2001. p. 82.

LOMELI-FLORES, J. Refugio, 2007a. Natural enemies and mortality factors of the coffee leafminer leucoptera coffeella (guérin-ménèville) (lepidoptera: lyonetiidae) in chiapas, mexico. S.l. : s.n.

LOMELI-FLORES, J. Refugio, 2007b. Natural enemies and mortality factors of the coffee leafminer Leucoptera coffeella (Guerin-Ménèville), Lepidoptera;Lyonetiidae, in Chiapas, Mexico. In : . 2007.

LOMELI-FLORES, J. Refugio, BARRERA, Juan F. et BERNAL, Julio S., 2009. Impact of natural enemies on coffee leafminer Leucoptera coffeella (Lepidoptera: Lyonetiidae) population dynamics in Chiapas, Mexico. In : Biological Control. octobre 2009. Vol. 51, n° 1, p. 51-60. DOI 10.1016/j.biocontrol.2009.03.021.

LOMELÍ-FLORES, J. Refugio, BARRERA, Juan F. et BERNAL, Julio S., 2010. Impacts of weather, shade cover and elevation on coffee leafminer Leucoptera coffeella (Lepidoptera: Lyonetiidae) population dynamics and natural enemies. In : Crop Protection. septembre 2010. Vol. 29, n° 9, p. 1039-1048. DOI 10.1016/j.cropro.2010.03.007.

MARCY, Fonseca, LIMA, Eraldo Rodrigues de, ARAÚJO, Ana Paula Albano et RESENDE, Tiago Teixeira de, 2013. Influence of host plant on reproductive behavior offonseca, m. das g. *et al*. leucoptera coffeella (guérin-mèneville) (lepidoptera: lyonetiidae). In : Coffee Science. 2013. Vol. 8, n° 1, p. 91-98.

MUESEBECK, 1937. A new West Indian species of /Mirax/ Holiday parasitic on the coffee leaf miner. In : Entomological Society of Washington. 1937. Vol. 39, p. 139-141.

NESTEL, David, DICKSCHEN, Franzisca *et al*TIERI, Miguel A., 1994. Seasonal and spatial population loads of a tropical insect: the case of the coffee leaf-miner in Mexico. In : Ecological Entomology. mai 1994. Vol. 19, n° 2, p. 159-167. DOI 10.1111/j.1365-2311.1994.tb00406.x.

OLIVEIRA, Maria Alice Santos, SAMPAIO, João Batista Ramos et GOMES, Antônio Carlos, 2001. Dinâmica Populacional do Bicho-mineiro (Perileucoptera coffeella) em Cafeeiro no Distrito Federal. In : . 2001. p. 19.

OUTREMAN, Yannick, 2018. Les modeles lineaires sous R. 2018. S.l. : s.n.

PANTOJA-GOMEZ, Laura M, CORRÊA, Alberto S, DE OLIVEIRA, Luiz Orlando et GUEDES, Raul Narciso C, 2019. Common Origin of Brazilian and Colombian Populations of the Neotropical Coffee Leaf Miner, Leucoptera coffeella (Lepidoptera: Lyonetiidae). In : Journal of Economic Entomology. 21 mars 2019. Vol. 112, n° 2, p. 924-931. DOI 10.1093/jee/toy416.

PARC NATUREL RÉGIONAL DE LA MARTINIQUE, 2015. Préconisation de plantations pour les culture de Coffea arabica var. Typica. 2015. S.l. : s.n.

PARC NATUREL RÉGIONAL DE LA MARTINIQUE, 2016. Partenariat expérimental pour la création d'une filière caféicole « haut de gamme ». 2016. S.l. : s.n.

PEET, Robert K., 1975. Relative Diversity Indices. In : Ecology. mars 1975. Vol. 56, n° 2, p. 496-498. DOI 10.2307/1934984.

PEREIRA, Eliseu José G., PICANÇO, Marcelo C., BACCI, Leandro, DELLA LUCIA, Terezinha Maria C., SILVA, Ézio M. et FERNANDES, Flávio L., 2007. Natural mortality factors of Leucoptera coffeella (Lepidoptera: Lyonetiidae) on Coffea arabica. In : Biocontrol Science and Technology. juin 2007. Vol. 17, n° 5, p. 441-455. DOI 10.1080/09583150701309337.

REIS JR, Ronaldo, SOUZA, Og De et VILELA, Evaldo F., 2000. Predators impairing the natural biological control of parasitoids. In : Anais da Sociedade Entomológica do Brasil. septembre 2000. Vol. 29, n° 3, p. 507-514. DOI 10.1590/S0301-80592000000300013.

ROYCHOUDHURY, N., 1999. Pest status of shisham leaf-miner, Leucoptera sphenograpta Meyrick. In : Advances in Forestry Research in India. 1999. Vol. 21, p. 222-226.

RUBIO, Hugo, 2013. Potentialités de développements agroforestiers au sein des forêts de la Martinique. In : . 2013. p. 151.

STEENBOCK, Walter et MACHADO VEZZANI, Fabiane, 2013. Agrofloresta : aprendendo a produzir com a natureza. S.l.

TUELHER, Edmar De Souza, OLIVEIRA, Eugenio Eduardo de, GUEDES, Raul Narciso Carvalho et MAGALHÃES, Leonardo Coelho, 2003. Ocorrência de bicho-mineiro do cafeeiro (Leucoptera coffeella) influenciada pelo período estacional e pela altitude. In : Acta Scientiarum. Agronomy. 23 avril 2003. Vol. 25, n° 1. DOI 10.4025/actasciagron.v25i1.2458.

VACANTE, Vincenzo et KREITER, Serge, 2017. Handbook of Pest Management in Organic Farming. S.l. : CABI. ISBN 978-1-78064-499-8.

VEGA, Fernando E, POSADA, Francisco et INFANTE, Francisco, 2006. Coffee Insects: Ecology and Control. In : . 2006. p. 5.

WAIREGI, Lydia et VAN ASTEN, Piet, 2014. Guide du système de culture banane-café. In : . 2014. p. 132.

Sitographie

ANSES, 2019. Ephy. In : [en ligne]. 2019. [Consulté le 6 août 2019]. Disponible à l'adresse : https://ephy.anses.fr/resultats_recherche/usages?culture1=Caf%C3%A9%20&culture2=&nuisible1=Chenilles%20phytophages&nuisible2=&mode=&f%5B0%5D=list_type_usage%3A20100401000000000001.

CLICANOO, 2000. Une firme Japonaise soutient la relance d'une filière café à la Réunion. In : Clicanoo.re [en ligne]. 2000. Disponible à l'adresse : https://www.clicanoo.re/Economie/Article/2000/06/20/Une-firme-Japonaise-soutient-la-relance-dune-filiere-cafe-la-Reunion.

ECOPHYTOPIC, 2018. BANABIO Evaluation de systèmes de culture innovants de BANAne BIOlogique. In : [en ligne]. 2018. [Consulté le 1 août 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.ecophytopic.fr/tr/innovation-en-marche/r%C3%A9seau-dephy/banabio-evaluation-de-syst%C3%A8mes-de-culture-innovants-de-banane.

FAO, 2007. Pruning coffee. In : [en ligne]. 2007. [Consulté le 1 août 2019]. Disponible à l'adresse : http://www.fao.org/3/AD219E/AD219E06.htm.

JANOT, Adrien, 2010. Des japonais à la recherche du café Typica. In : DOMactu [en ligne]. 2010. Disponible à l'adresse : http://www.domactu.com/actualite/101262010479684/martinique-des-japonais-a-la-recherche-du-cafe-typica/.

KLUNGNESS, Lm, JANG, Eric B, MAU, Ronald FL, VARGAS, Roger I, SUGANO, Jari S et FUJITANI, Earl, 2005. New sanitation techniques for controlling tephritid fruit flies (Diptera: tephritidae) in Hawaii. In : Journal of Applied Sciences and Environmental Management [en ligne]. 11 novembre 2005. Vol. 9, n° 2. [Consulté le 29 juillet 2019]. DOI 10.4314/jasem.v9i2.17284. Disponible à l'adresse : http://www.ajol.info/index.php/jasem/article/view/17284.

UESHIMA COFFEE COMPAGNY, 2019. Ueshima coffee house. In : UCC Foodservice Inc. [en ligne]. 2019. Disponible à l'adresse : http://www.ufs.co.jp/en/brand/ueshima/.

ANNEXES

ANNEXE I : Protocole expérimental détaillé

Journée terrain

Faire des photos de chaque étape !

1) Calcul du taux d'infestation des parcelles

Sur 5 patchs par parcelles, comptage sur 9 arbres (carré de 3x3) distribués aléatoirement sur la parcelle. Sur chaque arbre, comptage sur 3 rameaux (bas, milieu, haut) du nombre de feuilles minées et nombre de feuilles totales. Moyenne par arbre, puis par patch et généralisation a la parcelle (è **Pression en mineuse de la parcelle**) (135 rameaux/caféières étudiées) (Combien y-a-t-il de feuilles/rameau en moyenne ? Est-ce homogène ds tte les parcelles)

Données collectées : R ; FS ; FM

2) Calcul du taux d'occupation des mines

Sur les mêmes patchs d'arbres sur la parcelle, observation d'environ 400 mines (chiffre conseil Eddy) et comptage du nombre de mines occupées (présentant des chenilles à l'intérieur)

Données collectées : MO ; MOO

3) Récupération de feuilles avec des mines occupées

La récupération des feuilles se fait de, sur les arbres des patchs précédemment cités. L'objectif est la récupération d'un minimum de 200 feuilles minées par parcelle.

Rq : Feuilles minées vertes où la mine est peut-être encore active, ne pas récupérer de feuilles minées où celle-ci a été déjà détruite. Les feuilles avec pupes peuvent être récupérées.

Donnée collectée : FC

Journée Labo 1

4) Mise en élevage des feuilles

Le jour même ou au plus tard le matin suivant les prélèvements des feuilles (après conservation dans un endroit frais Attention à l'humidité des feuilles, ça peut macérer très vite), les placer en élevage dans le labo de la FREDON. La mise en élevage se fait dans des boites de pétri de 15cm de diamètre à hauteur de **4 feuilles/boites**. Au moment de la mise en boite, il faudra noter dans un coin de celle-ci, la provenance (parcelle), le nombre de feuille, le nombre total de mine (**M**), la date d'échantillonnage et celle de mise en élevage si différente + éponger les feuilles en tamponnant l'humidité au sopalin. Lors de la mise en boite, découper les pupes au scalpel et les mettre dans une boite de pétri séparée (**P**)

Données collectées : M ; P ; L

C'est le moment pour évaluer le nombre de Larves/mines (**L**). Comptage pour chaque mine (le plus possible) du nombre de larves visibles

Journée Labo 2

5) Première récupération de données (lundi, mercredi, vendredi ?)

Le cycle des parasitoïdes de la mineuse est plus court que celui de l'hôte donc ceux-ci émergeront avant les imagos. Une observation des boites est réalisée tous les deux jours à partir de la mise en élevage. (Collecte des parasitoïdes au fur et à mesure des émergences) Dès les premières observations de sorties d'imago des mineuse (environ 2 semaines après la mise en élevage) passer les boites 2 à 3 minutes au congélateur (endormissement des insectes) afin de compter les imago et de retirer les feuilles (vidées de leurs mineuses). Les mines sont toutes ouverte afin de compter le nombre de larves non abouties.

Les parasitoïdes trouvés sont comptés, tués au congélateur et conservés pour identification.

Données collectées : N ; Nbim ; Nbch

Liste des variables

Taux d'infestation (Inf_i): Pression en mineuse du café sur une parcelle, dépendante du nombre de feuilles attaquées et permet de montrer le degré d'infestation des parcelles.
En feuilles minées/feuille, équivalent à **FM/F**

Taux d'occupation des mines (Ocm) : Correspond au nombre de larve de mineuses véritablement présentes dans les mines. Il renseigne de la pression réelle en mineuses sur la parcelle. Il est plus simple et pertinent de faire un comptage de mines sur sites. Calcul : **MOV/MO x 100**

Taux de parasitismes (Para) : Correspond au nombre de larves parasitées
Dans la bibliographie (David-Rueda, 2016), le taux de parasitisme est calculé de la manière suivante :

$$\text{Porcentaje de Parasitismo} = \frac{\text{Total de enemigos naturales emergidos X 100}}{\text{Total de insectos emergidos}}$$

$$p(i) = n_i / N \qquad H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \log_2 p_i$$

Indice de Shannon (H') : donne une idée de la diversité spécifique d'un milieu. C'est à dire du nombre d'espèces de ce milieu (richesse spécifique) et de la répartition des individus au sein de ces espèces (équitabilité spécifique). **Pi** représente la proportion d'une espèce *i* par rapport au nombre total d'espèces (S) et où **ni**n i {\displaystyle n_{i}} est le nombre d'individus pour l'espèce *i* et **N**, l'effectif total (les individus de toutes les espèces).
On va obtenir un indice de Shannon pour chaque milieu (un **Pi** pour chaque espèce), ce qui permet de montrer la répartition des espèces au sein d'une parcelle et au sein de tout l'écosystème (Indice au niveau de la parcelle et Indice global regroupant toutes les parcelles). L'indice varie de 0 à Log(S). La valeur de l'indice varie de 0 (une seule espèce, ou bien une espèce dominant très largement toutes les autres) à log S (lorsque toutes les espèces ont même abondance).

Indice d'équitabilité de Piélou (J') : permet de mesurer la répartition des individus au sein des espèces, indépendamment de la richesse spécifique. Sa valeur varie de 0 (dominance d'une des espèces) à 1 (équirépartition des individus dans les espèces). Où H'_{max} = log S (et S le nombre total d'espèces).
Calcul : **$J' = H'/H_{max}$**
Il faut chercher à caractériser la diversité du cortège de parasitoïdes de la mineuse dans chaque parcelle puis comparer cette diversité entre les différentes parcelles.

Analyse statistique

Le traitement des données se fera sous logiciel R, l'objectif est d'étudier la répartition des données et en fonction du type de données (normales ou pas) d'effectuer des tests appropriés. Le but est d'essayer de trouver des corrélations entre le taux d'infestation, le taux de parasitisme et la diversité spécifique des écosystèmes. Les données collectées sont toutes de natures quantitatives (ainsi que les indices calculés à partir de ces données). De ce fait, l'analyse statistique se fera sous les règles du **modèle général linéaire** dans le but de mettre en place une **régression linéaire (simple ou multiple)** selon la méthode des **moindres carrés**.

ANNEXE II : Questionnaire d'enquête auprès des agriculteurs

Producteur : Localisation : Date :

Superficie totale de l'exploitation : Nombre de parcelles :
Environnement parcellaire :

Associations culturales ? :

Matériel agricole :
Contraintes techniques :

Coordonnées GPS (de toutes les parcelles) :
Superficies : Pente :
Texture du sol :
Précédent culturale : Année d'entrée en production :
Phase du cycle de vie :
Densité (pieds/ha) :

Bioagresseurs principaux :

Autres contraintes :

Fertilisation : Fréquence + types :
Produits phyto : Fréquence + types :
Irrigation (Fréquence) :
Désherbage : Fréquence + types :

Etat général (avis du producteur) :
Pourquoi ? :

Autres infos :

ANNEXE III : Script R

```
# Analyse 1 données quantitatives

data<-read.csv(«DonnéesB.csv», header = TRUE, sep = «;», row.names = 1, dec = «,»)

attach(data)

summary(data)

library(car)

#1) Estimation des variables

mean(Infest)

sd(Infest)

mean(Occup)

sd(Occup)

mean(Para)

sd(Para)

Infest1<-(sqrt(Infest))

barplot(Infest~Parcelle, ylab = «Taux d'infestation», main=»Évaluation de l'infestation en mineuse», col = «#CC6633») #Graphique de l'infestation par parcelle

barplot(Para~Parcelle, ylab = «Taux de parasitisme», main=»Estimation du taux de parasitisme», col = «#FFFF66»)

#Définition de la pression en ravageur

Press<-(((N+Nbim)/Nf)*Infest)*100

barplot(Press~Parcelle, ylab=»Pression en mineuse (larve/100 feuilles)», main = «Évaluation de la pression en mineuse», col = «#99FF66»)

mean(Press)

sd(Press)

#test non paramétriques KW

dunn.test(Infest, Parcelle, method = «bonferroni»)

dunn.test(Para, Parcelle, method = «bonferroni»)

#Question 1 : essai explication Infestation par parasitisme et Pression en mineuse et autre

mod<-lm(Infest~((Para+-Press+Occup)))

anova(mod)

summary(mod)

#comme on le pensait, aucune explication possible de L'infestation par le taux de parasitisme

#Test de corrélation de Pearson

res<-cor.test(Infest, Para, method = c("pearson"))

res

#Aucune corrélation entre infestation et parasitisme

#Question 2 : Est ce qu'on peut regrouper des parcelles ?

#TEST ACP

library(FactoMineR)

plot(data[,c(2:11)], col='green',pch=16)

cor(data[,c(2:11)])

res1<-PCA(data, quali.sup = c(1, 8))

res1$eig # déja plus de 50% avec les 2 1ers
```

```
# Analyse 1 données quantita-
tives

data<-read.csv(«DonnéesB.csv»,
header = TRUE, sep = «;», row.
names = 1, dec = «,»)

attach(data)

summary(data)

library(car)

#1) Estimation des variables

mean(Infest)

sd(Infest)

mean(Occup)

sd(Occup)

mean(Para)

sd(Para)

Infest1<-(sqrt(Infest))

barplot(Infest~Parcelle,
ylab = «Taux d'infestation»,
main=»Évaluation de l'infes-
tation en mineuse», col =
«#CC6633») #Graphique de l'in-
festation par parcelle

barplot(Para~Parcelle, ylab
= «Taux de parasitisme»,
main=»Estimation du taux de
parasitisme», col = «#FFFF66»)

#Définition de la pression en
ravageur

Press<-(((N+Nbim)/Nf)*In-
fest)*100

barplot(Press~Parcelle,
ylab=»Pression en mineuse
(larve/100 feuilles)», main =
«Évaluation de la pression en
mineuse», col = «#99FF66»)

mean(Press)

sd(Press)

#test non paramétriques KW

dunn.test(Infest, Parcelle, method
= «bonferroni»)

dunn.test(Para, Parcelle, method =
«bonferroni»)

#Question 1 : essai explication
Infestation par parasitisme et
Pression en mineuse et autre

mod<-lm(Infest~((Para+Press+Oc-
cup)))

anova(mod)

summary(mod)

#comme on le pensait, aucune ex-
plication possible de L'infesta-
tion par le taux de parasitisme

#Test de corrélation de Pearson

res<-cor.test(Infest, Para, method
= c("pearson"))

res

#Aucune corrélation entre infesta-
tion et parasitisme

#Question 2 : Est ce qu'on peut
regrouper des parcelles ?

#TEST ACP

library(FactoMineR)

plot(data[,c(2:11)],
col='green',pch=16)

cor(data[,c(2:11)])

res1<-PCA(data, quali.sup = c(1,
8))

res1$eig # déja plus de 50% avec
les 2 1ers

#- Corrélation négatives entre Pa-
rasitisme et Indices de Shannon =
Mauvaise répartition ?

#- Corrélation négative altitude/
Infestation ?

#Regroupement Surface/Occupation/
Nbim ?
```

```
summary(res1)

cor.test(Infest, Alti, method = c("pearson"))

cor.test(Para, Shannon, method = c("pearson"))

par(mfrow=c(1,1))

dotchart(res1$ind$dist)

res1$var$cor

plot(res1,choix='var',axes = c(1,2)) #Para et N; Nbm, Surf, et Occup par contre Alti et Infest anticorrélés ?

plot(res1,choix='var',axes = c(1,3))

plot(res1,choix='var',axes = c(1,4))

plot(res1,choix='ind',axes = c(1,2)) #Regroupement de Pajoul et Marignan !

res1$ind$cos2

par(mfrow=c(1,1))

classh=HCPC(res1)

 #Question 3 : comparaison des Shannon

df1<-data.frame(Parc=Parcelle, Shan=Shannon, Equitabilité=Equita)

head(df1)

library(ggplot2)

ggplot(data=df1, aes(x=Parc, y=Shan, fill=Equitabilité)) +

  geom_bar(stat="identity", color="black", position = position_dodge())+

    ylab(«Indice de Shannon»)+

       xlab(«Parcelles»)+

        ggtitle(«Comparaison des indices de Shannon et d'équitabilité»)+

  geom_text(aes(label=Shannon), vjust=1.6, color="black")+

  theme_minimal()

par(mfrow = c(1, 2))

barplot(Shannon~Parcelle, main = «Comparaison des indices de Shannon», ylab = «Indice de Shannon»)

#Comparaison par parcelle

barplot(Equita~Parcelle, main = «Indices d'équitabilités», ylab = «Indice d'équitabilité»)

 t.test(Shannon, Parcelle)

kruskal.test(Shannon, Parcelle)

dunn.test(Shannon, Parcelle, method = «bonferroni»)

t.test(Equita)

#Question 4 : Essai Analyse des enquêtes (binomial)

data2<-read.csv("Données_quali.csv", header = TRUE, sep = ";", dec = ",", row.names = 1)

kruskal.test(data2)#Il existe des différences au sein des groupes

library(ade4)

library(FactoMineR)

res3<- dudi.acm(data2[,c(2:8)], scannf = FALSE, nf = 5)

screeplot(res3)

summary(res3)

par(mfrow=c(1, 1))

s.corcircle(res3$co, 1, 2, clabel = 0.7)

s.corcircle(res3$co, 1, 3, clabel = 0.7)
```

ANNEXE IV :Tableau récapitulatif des données d'enquêtes auprès des agriculteurs

Parcelle	Pente	Environnement	Associations	Désherbage
A	>30°	Maraichage	Non	Manuel
B	>30°	Forêt	Oui	Chimique
C	0 à 10°	Arboriculture	Non	Manuel
D	0 à 10°	Maraichage	Oui	Manuel
E	>30°	Forêt	Oui	Manuel

ANNEXE V :Tests statistique ANOVA et test de corrélation de Pearson entre les taux d'infestation et de parasitisme

```
Coefficients:
             Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.022089   0.034862   0.634    0.640
Para         0.494884   0.384143   1.288    0.420
Press        0.002647   0.001045   2.534    0.239
Occup       -0.105015   0.482378  -0.218    0.864

Residual standard error: 0.04501 on 1 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9939,  Adjusted R-squared:  0.9757
F-statistic: 54.55 on 3 and 1 DF,  p-value: 0.09912
```

```
        Pearson's product-moment correlation

data:  Infest and Para
t = 1.927, df = 3, p-value = 0.1496
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence intervalles :
 -0.4029394 0.9817814
sample estimates :
      cor
0.7437191
```

ANNEXE VI :Fiches techniques réalisées dans le cadre du stage

Parc naturel régional de la Martinique

Fiche BIOAGRESSEURS 1

La mineuse du caféier – *Perileucoptera coffeella*

ARABICA TYPICA

Reconnaissance du bioagresseur et des symptômes :

Insecte - Lépidoptère - Lyonetiidées - ***Perileucoptera coffeella***

Chenilles présentes dans une mine foliaire

Adulte (2mm)

Plant de café attaqué par la mineuse du caféier

Conséquences de la présence du ravageur :

- Diminution de la photosynthèse
- Chute prématurée des feuilles
- Dégâts possibles dans les tiges (galeries)
- Entrée dans la plante d'autres bioagresseurs (pathogènes)
- Pertes de rendements pouvant aller **jusqu'à 80%** quand la parcelle est très attaquée

Fiche IMPLANTATION 2

Associations culturales possibles

LA STRATE ARBORÉE
LES ARBRES D'OMBRAGES ET DE BORDURES

Dans le champ
- *Inga spp* (légumineuse), *Citrus spp*, *Persea americana* (Avocat), 10m x 10m **(≈ 100/ha chaque)**
- *Samanea saman* (Saman), 20m x 20m **(≈ 25/ha)**
- Autres fruitiers (Fruit à pain, manguier...) selon les arbres déjà présents

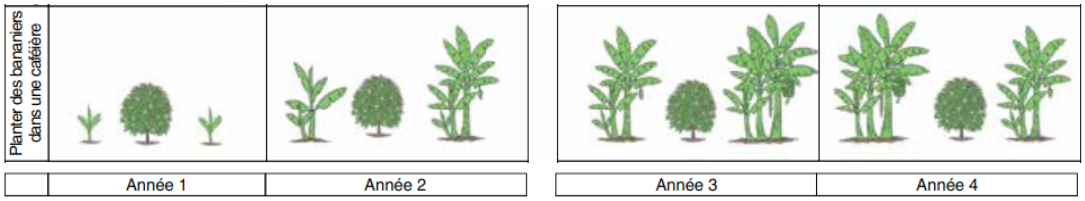
En bordure (fonction coupe-vent):
Ex : *Simarouba amara* (bois blanc), *Cecropia schreberiana* (Bois canon)…

Favoriser si possible les espèces endémiques et déjà présentes dans l'environnement

La culture de café sous ombrage permet une floraison plus importante, une réduction de la pression en bioagresseurs (notamment la mineuse) et une durée de production plus longue

LA STRATE ARBUSTIVE HAUTE
LE SYSTÈME BANANE/CAFÉ

- Plantation des bananiers en 3m x 4.5m **(≈750/ha)** en début de saison des pluies
- Apporter du compost/fumier avant la plantation des bananes (directement dans le trou de plantation)
- Elagage régulier du feuillage des caféiers pour optimiser la quantité d'ombrage projeté sur les rejets de bananiers récemment plantés



LA STRATE BASSE - LES CULTURES VIVRIÈRES

Utiliser des cultures **non concurrentielles** avec le café
Ex : Haricots, piments, dachine, salade, carottes, manioc, aromatiques...

ANNEXE VII :Identification finales des parasitoïdes Eulophidae par Gérad Delvare

Parcelles	Morphotypes					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
A	2	2		212		
B	2	4			1	1
C	4	11	1			
D						
E						
Identification préliminaire	*Cirrospilus sp*	*Horismenus sp*	*Neochrysocharis sp*	*Mirax sp*	*Closterocerus sp*	*Cirrospilus sp*
Identification définitive	*Cirrospilus sp*	*Horismenus citrus* Hansson, 2009	*Closterocerus aff purpureus* (Howard, 1897)	*Mirax sp*	*Closterocerus aff purpureus* (Howard, 1897)	*Cirrospilus sp*

Morphotype I

Cirrospilus sp. (1 mâle). Détermination à l'espèce impossible faute de révision du genre au niveau du Nouveau Monde.

Morphotype II

Horismenus citrus Hansson, 2009 (2 femelles et 1 mâle). Comparé à une série de paratypes qui nous ont été retournés par Hansson lui-même. Notre collection renferme des spécimens de Martinique (récoltés en 1999 à Carbet) et de République Dominicaine ; dans ces deux îles, ils ont été obtenus de Phyllocnistis citrella. L'holotype vient du Brésil.

Morphotypes III et V

Closterocerus aff purpureus (Howard, 1897) (respectivement 1 mâle et 1 femelle). Nous avons également une série de Martinique obtenue de *Liriomyza sativae* à Gros Morne, que Jean Etienne a obtenu de Guadeloupe. Les deux espèces sont si proches morphologiquement que je les avais confondues. *Closterocerus coffeellae* et *C. lividus* ont été cités de *L. coffeella* en Colombie ; ce sont des espèces distinctes de celle de Martinique.

Morphotype VI

Cirrospilus sp. (1 femelle). Détermination à l'espèce impossible faute de révision du genre au niveau du Nouveau Monde. *Cirrospilus neotropicus* a été signalé de la mineuse mais je n'ai pas sa description.

Diplôme : Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires Horticoles et du Paysage

Spécialité : Horticulture

Spécialisation / option : Protection des Plantes et Environnement en Horticulture

Enseignant référent : Nicolas Chen

Auteur : Camille BORTOLI

Date de naissance : 11/06/1994

Organisme d'accueil : Parc Naturel Régional de la Martinique

Adresse : Avenue des canéficiers, Fort-de-France 97200, Martinique

Maître de stage : Jonathan Louis-Sidney

Nb pages : 40 **Annexe(s)** : 7

Année de soutenance : 2019

Titre français : Étude de la régulation de la mineuse du café Leucoptera coffeella (Guérin-Méneville, 1842) sur des parcelles de café martiniquaise par des auxiliaires parasitoïdes

Titre anglais : Study of the regulation of the coffee leaf miner *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, 1842) on Martinican coffee plots by parasitoid

Résumé : La mineuse du café, *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville, Perrottet, 1842) est un des ravageurs principaux des plantations de café de la zone Néotropicale. Les chenilles de ce microlépidoptère minent le mésophylle des feuilles ce qui engendre des pertes de rendement considérables. Depuis 2015 des nouvelles plantations de café de la variété Typica sont cultivées en Martinique et la mineuse a été signalée depuis 2018. Des auxiliaires parasitoïdes existent et sont mentionnés dans les Antilles et en Amérique du Sud mais aucun travail n'a été conduite sur l'île. C'est dans ce contexte qu'une étude des interaction entre l'infestation des parcelles et le taux de parasitisme des parasitoïdes associés est menée au sein des différentes parcelles de l'île.

Au total 6 morphotypes de guêpes parasitoïdes de deux familles, Eulophidae et Braconidae sont répertoriés sur les parcelles dont le genre très étudié pour le contrôle de la mineuse, *Mirax*. Les résultats des tests menés ne permettent pas d'expliquer le taux d'infestation des parcelles mais mettent en évidence la complexité des interactions possibles avec des paramètres comme les espèces du cortège parasitaire, l'environnement parcellaire ou les cultures associées.

L'objectif est de proposer une stratégie de protection des caféières en utilisant l'espèce de Braconidae identifiée et en préconisant un ensemble d'actions à mettre en place afin de réguler efficacement les populations du ravageur.

Abstract : The coffee miner, Leucoptera *coffeella* (Guérin-Méneville, Perrottet, 1842) is one of the main pests

of coffee plots in the Neotropical zone. The caterpillars mine the mesophyll of the leaves, resulting in considerable yield losses. Since 2015 new plantations of Typica coffee have been cultivated in Martinique and leafminer has been reported since 2018. Parasitoids auxiliaries exist and are mentioned in the West Indies and South America but no studies have been conducted on the island. It is in this context that a study of the interactions between plot infestation and parasitism rates of associated parasitoids is being conducted within the different plots of the island.

A total of 6 morphotypes of parasitoid wasps of two families, Eulophidae and Braconidae, are listed on the plots, including the genus highly studied for the control of the leafminer, *Mirax sp*. The results of the tests carried out do not explain the infestation rate of the plots but highlight the complexity of the interactions with parameters such as parasite communities, environment or associated crops.

The objective is to propose a strategy for protecting coffee plantations by using the identified Braconidae species and recommending a set of actions to be implemented in order to regulate the populations of the pest.

Mots-clés : café, mineuse, parasitoïdes, *Leucoptera coffeella*, *Mirax sp*, Martinique

Key Words: Coffee, Coffee leaf miner, parasitoids, *Leucoptera coffeella*, *Mirax sp*, Martinica